

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE MEDICINA
DEPARTAMENTO DE TOXICOLOGÍA Y LEGISLACIÓN
SANITARIA



TESIS DOCTORAL

El estudio de la edad para la identificación humana

**Estudio antropológico forense en el complejo articular del
hombro y en el esternón para la estimación de la mayoría de
edad legal y de la edad de la muerte**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTORA

PRESENTADA POR

María Benito Sánchez

DIRECTORES

José Antonio Sánchez Sánchez
Sónia Codinha

Madrid, 2017



UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE MEDICINA

DEPARTAMENTO DE TOXICOLOGÍA Y LEGISLACIÓN SANITARIA

EL ESTUDIO DE LA EDAD PARA LA IDENTIFICACIÓN HUMANA

**ESTUDIO ANTROPOLÓGICO FORENSE EN EL COMPLEJO ARTICULAR DEL
HOMBRO Y EN EL ESTERNÓN PARA LA ESTIMACIÓN DE LA MAYORÍA DE
EDAD LEGAL Y DE LA EDAD DE LA MUERTE**

TESIS DOCTORAL

Dña. María Benito Sánchez

Madrid

Abril, 2015

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE MEDICINA

DEPARTAMENTO DE TOXICOLOGÍA Y LEGISLACIÓN SANITARIA

EL ESTUDIO DE LA EDAD PARA LA IDENTIFICACIÓN HUMANA

**ESTUDIO ANTROPOLÓGICO FORENSE EN EL
COMPLEJO ARTICULAR DEL HOMBRO Y EN EL
ESTERNÓN PARA LA ESTIMACIÓN DE LA MAYORÍA
DE EDAD LEGAL Y DE LA EDAD DE LA MUERTE**

TESIS DOCTORAL

Dña. María Benito Sánchez

Directores:

Dr. D. José Antonio Sánchez Sánchez

Dra. Dña. Sónia Codinha

Madrid

Abril, 2015

***A mi hermano Alonso,
mi amigo, mi apoyo y mi fuerza***

AGRADECIMIENTOS

Durante los cuatro años que he estado investigando y desarrollando este proyecto ha habido momentos inolvidables cargados de aprendizaje y buenas compañías que me acompañan en el recuerdo, pero también han surgido complicaciones y desafíos que he tenido que superar con entereza. En este camino, me he cruzado con muchas personas que me han ayudado a aprender y fortalecerme, bien con sus consejos profesionales o bien a través del cariño y apoyo, y no podría dejar de agradecerles su gran ayuda en este proceso.

Aprender del Dr. José Antonio Sánchez ha sido un auténtico privilegio, sus consejos y explicaciones me han ayudado a crecer como profesional y como persona. Por su parte, a la Dra. Sónia Codinha quiero agradecerle su visión renovadora para darle un nuevo enfoque a mi trabajo y a mi manera de afrontar los retos.

Mi familia, mis padres, Lázaro y M^a Gracia y mi hermano Alonso, han sido mi fuerza y coraje en este largo camino. Agradezco su apoyo incondicional en todas las decisiones de tipo profesional en las que me he involucrado, y sobre todo, agradezco que a través de la comprensión y el cariño hayan sabido guiarme hacia el mejor camino.

No podría olvidarme de mis compañeros, tanto los antiguos como los recientes, todos ellos han formado parte activa de este proceso. A Olga, Sergio, Elena, Raquel, María, Javier y Alexandra que siempre dispuestos a darme su apoyo, me han ayudado mucho en este proceso.

También quiero agradecer a mis amigos, los de siempre y los recientes, que se han convertido rápidamente en los de siempre. Sergio, David, Vanessa, Alexandra, Isabel,

Sónia y Luis, porque el que regala su tiempo, regala un tesoro y, siempre han tenido tiempo para escucharme en los buenos y en los malos momentos.

Quiero agradecer también su esfuerzo a Pedro Cuesta que me ha acompañado por el necesario pero complicado camino de la estadística y ha atendido todas mis dudas con paciencia y comprensión. A Marcos Sánchez, que como amigo y fotógrafo me ha ayudado en la maquetación y diseño de las fotografías artísticas que se incluyen en la tesis. Y, finalmente, a Laura Durán, por ayudarme a enfocar mis desafíos desde la perspectiva más positiva.

Por último, me gustaría agradecer su trabajo a todo el personal de este departamento, que siempre han estado dispuestos ayudarme. A los antiguos y a los recientes. En especial a Manoli y a Carmen, que han realizado una labor extraordinaria con las colecciones óseas. Sin su trabajo, ni este estudio ni muchos otros hubieran sido posibles.

ÍNDICE

1. ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS	4
2. RESUMEN	6
3. SUMMARY	16
4. INTRODUCCIÓN	25
4. 1 LA ANTROPOLOGÍA FORENSE, ORÍGENES Y PERSPECTIVA ACTUAL	26
4. 2 LA IMPORTANCIA DEL ESTUDIO DE LA EDAD COMO PARÁMETRO FUNDAMENTAL PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL PERFIL BIOLÓGICO	28
4. 2. 1 LA ESTIMACIÓN DE LA EDAD EN SUJETOS SUBADULTOS	30
4. 2. 2 LA PROBLEMÁTICA EN LA ESTIMACIÓN DE LA MAYORÍA DE EDAD LEGAL	34
4. 2. 3 LA ESTIMACIÓN DE LA EDAD EN SUJETOS ADULTOS	38
4. 2. 4 LA PROBLEMÁTICA EN LA ESTIMACIÓN DE LA EDAD DE LA MUERTE EN INDIVIDUOS ADULTOS	48
5. ANATOMÍA, BIOMECÁNICA Y MADURACIÓN DEL ESQUELETO HUMANO.....	51
5.1 LA CLAVÍCULA: ANATOMÍA, DESARROLLO EMBRIOLÓGICO, CRECIMIENTO Y BIOMECÁNICA	59
5.2 LA ESCÁPULA: ANATOMÍA, DESARROLLO EMBRIOLÓGICO, CRECIMIENTO Y BIOMECÁNICA	67
5.3 EL ESTERNÓN: ANATOMÍA, DESARROLLO EMBRIOLÓGICO, CRECIMIENTO Y BIOMECÁNICA.	73
5.4 EL HÚMERO: ANATOMÍA, DESARROLLO EMBRIOLÓGICO, CRECIMIENTO Y BIOMECÁNICA	80
6. ESTUDIOS RELATIVOS A LA ESTIMACIÓN DE LA EDAD DE LA MUERTE EN SUJETOS ADULTOS: APLICACIÓN A CADÁVERES ESQUELETIZADOS.....	88
6.1 ESTUDIOS RELATIVOS A CAMBIOS DEGENERATIVOS OBSERVADOS EN LA CLAVÍCULA A TRAVÉS DE MÉTODOS RADIOGRÁFICOS.	89
6. 2 ESTUDIOS DE LA ESCÁPULA RELATIVOS A LA ESTIMACIÓN DE LA EDAD DE LA MUERTE EN SUJETOS ADULTOS.	97
6.3 ESTUDIOS RELATIVOS AL ESTERNÓN Y EL TIEMPO DE FUSIÓN DE CADA UNA DE SUS PARTES Y SU APLICACIÓN A LA ESTIMACIÓN DE LA EDAD DE LA MUERTE.....	101
7. ESTUDIOS RELATIVOS A LA FUSIÓN DE LOS CARTÍLAGOS METAFISARIOS Y SU APLICACIÓN A LA ESTIMACIÓN DE LA EDAD EN SUJETOS VIVOS.....	107
7.1 ESTUDIOS RELATIVOS A LA FUSIÓN DE LA EPÍFISIS ETERNAL DE LA CLAVÍCULA.	108
7.2 ESTUDIOS RELATIVOS A LA FUSIÓN DE LA EPÍFISIS PROXIMAL DEL HÚMERO.....	123

8. LA RADIOLOGÍA Y LA ECOGRAFÍA COMO TÉCNICAS AUXILIARES EN ANTROPOLOGÍA FORENSE.....	126
8.1 LA RADIOLOGÍA	127
8.2 LA ECOGRAFÍA	131
9. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	134
10. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO	137
10.1 HIPÓTESIS	138
10.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO	138
11. MATERIAL Y MÉTODOS	140
11.1 MATERIAL DE ESTUDIO	141
11.1.1 MATERIAL EMPLEADO PARA EL ESTUDIO RADIOGRÁFICO: COLECCIÓN ÓSEA DE INDIVIDUOS IDENTIFICADOS DE LA ESCUELA DE MEDICINA LEGAL.	141
11.1.2 MATERIAL EMPLEADO PARA EL ESTUDIO ECOGRÁFICO: MUESTRA DE VOLUNTARIOS PERTENECIENTES A LA POBLACIÓN ESPAÑOLA.	144
11.2 METODOLOGÍA APLICADA PARA LA ESTIMACIÓN DE LA EDAD	149
11.2.1 MÉTODOS APLICADOS AL ESTUDIO RADIOGRÁFICO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA EDAD EN SUJETOS ADULTOS	149
11.2.2 MÉTODOS APLICADOS AL ESTUDIO ECOGRÁFICO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA MAYORÍA DE EDAD LEGAL EN ESPAÑA	169
12. RESULTADOS	180
12.1 RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS RELATIVOS A LA ESTIMACIÓN DE LA EDAD DE LA MUERTE EN SUJETOS ADULTOS.	181
12.1.1 RESULTADOS OBTENIDOS EN LA CLAVÍCULA: ESTUDIO RADIOGRÁFICO Y DE ANÁLISIS DE IMAGEN.	181
12.1.2 RESULTADOS OBTENIDOS EN LA CLAVÍCULA: ESTUDIO MORFOLÓGICO.....	196
12.1.3 RESULTADOS OBTENIDOS EN LA ESCÁPULA: ESTUDIO MORFOLÓGICO.....	218
12.1.4 RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ESTERNÓN: ESTUDIO MORFOLÓGICO	238
12.2 RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS RELATIVOS A LA ESTIMACIÓN DE LA MAYORÍA DE EDAD LEGAL EN SUJETOS VIVOS.	244
12.2.1 LA CLAVÍCULA Y EL HÚMERO: RESULTADOS OBTENIDOS A TRAVÉS DEL ESTUDIO DEL CIERRE EPIFISARIO.....	244
13. DISCUSIÓN.....	254
13.1 DISCUSIÓN SOBRE LA ESTIMACIÓN DE LA EDAD DE LA MUERTE EN SUJETOS ADULTOS APLICANDO TÉCNICAS RADIOGRÁFICAS.	255
13.1.3 LA CLAVÍCULA.....	255
13.1.2 LA ESCÁPULA	279
13.1.3 EL ESTERNÓN.....	290

13.2 DISCUSIÓN SOBRE LA ESTIMACIÓN DE LA MAYORÍA DE EDAD LEGAL EN SUJETOS VIVOS APLICANDO TÉCNICAS ECOGRÁFICAS.	293
13.2.1 ESTUDIO RELATIVO A LA FUSIÓN DE LA EXTREMIDAD ESTERNAL DE LA CLAVÍCULA COMO INDICADOR PARA LA ESTIMACIÓN DE LA MAYORÍA DE EDAD LEGAL.....	297
13.2.2 ESTUDIO RELATIVO A LA FUSIÓN DE LA EPÍFISIS PROXIMAL DEL HÚMERO COMO INDICADOR PARA LA ESTIMACIÓN DE LA MAYORÍA DE EDAD LEGAL	303
13.3 PROTOCOLO DE ACTUACIÓN COMPLEMENTANDO AMBAS VARIABLES	307
14. CONCLUSIONES	310
15. BIBLIOGRAFÍA.....	313
16. ANEXO I	337
17. ANEXO II	342
18. ANEXO III	344

1. ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

A continuación se muestran las abreviaturas de las variables que serán utilizadas a lo largo de este trabajo con el fin de evitar repeticiones:

ESTIMACIÓN DE LA EDAD EN CADÁVERES ESQUELETIZADOS DE SUJETOS ADULTOS

CLAVÍCULA

SGA: Media de gris en la extremidad esternal

AGA: Media de gris en la extremidad acromial

AI: Índice anterior

PI: Índice posterior

TI: Índice total

TDS: Diámetro trabecular en la extremidad esternal

TDA: Diámetro trabecular en la extremidad acromial

TIM: Involución trabecular en la cavidad medular

GCA: Grosor de la cortical en la región anterior de la clavícula

GCP: Grosor de la cortical en la región posterior de la clavícula

ESCÁPULA

TDC: Diámetro trabecular en la región del cuello de la escápula

TDB: Diámetro trabecular en la región del borde axilar de la escápula

TAC: Arquitectura trabecular en la región del cuello de la escápula

TAB: Arquitectura trabecular en la región del borde axilar de la escápula

ESTERNÓN

AME: Fusión de la articulación manubrioesternal

AXE: Fusión de la articulación xifoesternal

ESTIMACIÓN DE LA EDAD EN SUJETOS SUBADULTOS VIVOS

CLAVÍCULA

FC: Cierre epifisario en la extremidad esternal de la clavícula

HÚMERO

FH: Cierre epifisario en la epífisis proximal del húmero

2. RESUMEN

La reciente demanda de estudios que requieren la estimación de la edad en la Administración de Justicia, ha hecho que tengan que aumentar las investigaciones en el campo de la Antropología Forense, con el fin de responder de la manera más eficaz a las preguntas que se formulan.

La Antropología Forense es una subdisciplina reciente, que se remonta a principios del siglo XX, que se encuentra incluida dentro de la Antropología Física y muy vinculada a la Medicina Legal, cuyo objetivo principal es la realización del perfil biológico de una persona con fines identificativos.

La identificación de una persona es un proceso sistemático y riguroso que exige el estudio de varios parámetros. Uno de los más importantes, por la relevante información que aporta a la investigación policial, es la estimación de la edad.

Para su estudio es necesario conocer los cambios morfológicos que van a ocurriendo en el esqueleto humano con el paso del tiempo, para poder compararlos con los patrones descritos en poblaciones de referencia de edades conocidas, teniendo en cuenta las variaciones propias de los distintos grupos poblacionales, del dimorfismo sexual o de algunos caracteres epigenéticos.

Los métodos que se aplican para la estimación de la edad son muy diferentes dependiendo del caso que se quiera abordar; en casos de sujetos subadultos que no han alcanzado la madurez ósea, los métodos están basados en los patrones de crecimiento y desarrollo de los huesos y dientes, mientras que en casos de sujetos adultos que ya han alcanzado la madurez ósea, los métodos están basados en los cambios degenerativos que sufre el esqueleto humano con el paso del tiempo.

En sujetos subadultos, los patrones de crecimiento siguen un proceso homogéneo que es fácilmente predecible. La maduración de huesos y dientes ha sido estudiada en numerosas ocasiones y sobre muy distintas poblaciones y, salvo excepciones, los resultados que se obtienen de dichos métodos son bastante fiables y cercanos a la realidad.

En esta línea, es donde se engloba la estimación de la mayoría de edad legal, que son estudios relativos al conocimiento de la edad con el fin de aplicar sus derechos a los menores indocumentados que entran en algún país miembro de la Comunidad Europea,

o con el fin de aplicar correctamente el Código Penal y proteger la infancia en casos de menores que pudieran haber cometido algún delito.

Para la realización de estos informes periciales se han establecido una serie de parámetros que deben estudiarse a fin de homogeneizar las técnicas de estudio y estandarizar el proceso pericial. Las pruebas que se deben realizar son: el examen físico del paciente, el estudio radiográfico de la maduración ósea del carpo de la mano izquierda, el estudio radiográfico a través de la ortopantomografía de la erupción de los terceros molares y, el estudio por radiografía o tomografía axial computerizada de la epífisis esternal de la clavícula.

Con estas pruebas se debería poder responder a las preguntas que plantea la Administración de Justicia ya que las técnicas basadas en la maduración se encuentran bien estudiadas y proporcionan buenos resultados. El problema, en estos casos es que el intervalo etario que se requiere es tan estrecho (mayor o menor de 18 años) que muchas veces no es posible responder a las demandas.

Otro de los estudios que pueden plantearse en los tribunales de justicia son los estudios de Antropología Forense destinados a la identificación de unos o varios cadáveres, total o parcialmente, esqueletizados de sujetos adultos.

En estos casos la estimación de la edad como parámetro fundamental para la realización del perfil biológico de un sujeto es muy importante. Los métodos que se aplican, cuando ya se ha culminado el proceso madurativo del esqueleto humano, están basados en los procesos degenerativos que ocurren con el avance de la edad. Estos métodos, muchas veces, no proporcionan resultados muy fiables debido a que los procesos degenerativos están muy influenciados por factores externos como la actividad física, el nivel socioeconómico o la alimentación, que hacen que la edad real y la edad biológica, algunas veces, no coincidan.

La mayoría de los métodos que se aplican para la estimación de la edad de la muerte están basados en la observación de los cambios morfológicos que ocurren en determinadas regiones anatómicas. Estos cambios pueden observarse de manera directa o través de técnicas complementarias como la radiografía, que permite la observación de estructuras óseas internas que no son observables a simple vista.

Por la necesidad de responder con mayor precisión cuando es necesario realizar un estudio de Antropología Forense que requiera la estimación de la edad, se ha planteado el presente trabajo de investigación con una doble perspectiva: realizar un estudio morfométrico y de análisis de imagen sobre radiografías de individuos adultos, con el fin de crear un método que pudiera ser de aplicación al estudio forense de la edad y, diseñar un método nuevo, utilizando la ecografía como técnica diagnóstica, para mejorar la precisión de las estimaciones en casos que requieran conocer la mayoría de edad legal de un sujeto.

Para la realización de este estudio se han seleccionado cuatro regiones anatómicas. Para el desarrollo del trabajo que engloba el estudio de la edad de la muerte en sujetos adultos se ha seleccionado la clavícula, la escápula y el esternón, que han sido elegidos tanto por su fácil accesibilidad, como por las reducidas cargas biomecánicas a las que se encuentran sometidos.

Por otro lado, para el estudio que implica la estimación de la mayoría de edad legal, se han seleccionado la epífisis distal de la clavícula, así como la epífisis proximal del húmero. En este caso, la selección ha estado basada en el tiempo de fusión de ambas regiones que se encuentran cercanos al rango de edad buscado (18 años).

La muestra de estudio, para la estimación de la edad de la muerte, ha estado compuesta por todas las clavículas, escápulas y esternones de los individuos adultos que forman parte de la colección de esqueletos identificados de la Escuela de Medicina y Forense de Madrid. Eliminando las que estuviesen dañadas o en mal estado de conservación, se han utilizado 332 clavículas (172 hombres y 160 mujeres), 226 escápulas (124 hombres y 102 mujeres), y 157 esternones (95 hombres y 62 mujeres).

Por su parte, la muestra que se ha utilizado para el estudio relativo a la mayoría de edad legal, ha estado compuesta por las imágenes ecográficas de alumnos de centros de estudio de Educación Secundaria y Grados de Formación Superior relacionados con las ciencias Biomédicas de la Comunidad de Madrid, que voluntariamente han accedido a colaborar en el presente trabajo. En total se han obtenido ecografías, de la epífisis distal de la clavícula y de la epífisis proximal del húmero, de 221 individuos (75 hombres y 146 mujeres), con edades comprendidas entre los 5 y los 30 años.

Para la obtención de las imágenes radiográficas de las clavículas, escápulas y esternones, se ha utilizado un generador de rayos X SEDECAL, modelo SHF 145, y se han aplicado siempre los mismos datos radiográficos para la obtención de las imágenes. De esta manera, los cambios observados en las radiografías sólo podrían ser debidos a procesos degenerativos y no tendrían relación con las variaciones en la incidencia y penetración de los rayos X. Todas estas imágenes fueron digitalizadas, utilizando un escáner EPSON Expression 1640 XL y, posteriormente, incorporadas a una base de datos.

Sobre las radiografías de las clavículas se han realizado dos estudios diferentes: un estudio de análisis de imagen y un estudio morfométrico.

El primero, relaciona tanto las variaciones de gris (en la extremidad esternal y acromial de la clavícula), como los índices claviculares (obtenidos como la relación existente entre el grosor cortical, de la región anterior y posterior de la clavícula, con el grosor total de la misma, en el punto mediodiafisario), con la edad de los sujetos de estudio.

El segundo, un estudio morfométrico basado en el establecimiento de cinco categorías de disminución del grosor de la cortical de la clavícula, en la región anterior y posterior de la misma, y su relación con la edad de los sujetos de estudio; y el cálculo del aumento del diámetro trabecular, en la extremidad esternal, acromial y diáfisis, como indicador de pérdida de materia ósea con la edad.

A su vez, se ha realizado un estudio morfométrico sobre las radiografías de las escápulas en dos regiones seleccionadas de las mismas: cuello y borde axilar. Sobre ellas, se han estudiado dos parámetros relacionados con la pérdida de materia ósea: el primero basado en el aumento del tamaño del diámetro trabecular como indicador de las variaciones que sufre el sistema trabecular; y el segundo, las modificaciones que sufre la arquitectura trabecular y su relación con el paso del tiempo.

Por último, se han estudiado los tiempos de fusión de las dos articulaciones que componen el esternón: articulación manubrioesternal y la articulación xifoesternal. Para ello, se han establecido tres categorías de fusión, que incluyen la ausencia de fusión, la fusión parcial y la fusión total.

Para el estudio de la mayoría de edad legal, se han realizado ecografías a todos los voluntarios que han accedido a colaborar con esta investigación. Se ha utilizado un

equipo de ultrasonido MyLab 60 en el formato B-Mode que tiene incorporada una sonda lineal LA 523. Posteriormente, se han analizado todas las imágenes utilizando un software MyLabDesk 3.04.

Todas las ecografías se han realizado con la sonda en perpendicular a la región epifisaria estudiada. Con todas las imágenes se ha realizado un estudio de fusión de la epífisis distal de la clavícula y de la epífisis proximal de húmero en el que se han establecido cuatro fases de fusión para la clavícula y seis fases de fusión para el húmero.

Todos los datos obtenidos, han sido sometidos a un estudio estadístico en el que se ha utilizado el estadístico de la regresión múltiple por pasos sucesivos, en el caso de las variables continuas: densidad de gris e índices claviculares, para obtener unas ecuaciones de regresión que puedan ser utilizadas para la estimación de la edad en sujetos adultos.

Por su parte, las variables categóricas (grosor de la cortical, cálculo de los diámetros trabeculares, disposición de la arquitectura trabecular, fusión de las dos articulaciones del esternón y cierre epifisario en la extremidad distal de la clavícula y en la epífisis proximal del húmero), han sido sometidas a un estudio de análisis de la varianza ANOVA y de subconjuntos homogéneos DUNCAN, con la finalidad de poder discernir entre los grupos en que se clasifica cada una de las variables de agrupación. De esta manera se pueden establecer intervalos etarios para cada categoría que pueden ser utilizados para la estimación forense de la edad.

Los resultados muestran que, para el estudio de la edad de la muerte en sujetos adultos, las variables que están relacionadas con la densidad de gris no proporcionan muy buenos resultados por sí solas. Los valores del Índice de Correlación Intraclass muestran valores inferiores a 0.6, lo que indican una baja repetitividad del método. Este resultado, puede explicarse por la dificultad de estandarizar la medida, tanto en la extremidad distal como en la extremidad acromial de la clavícula.

Por otro lado, las variables que implican el cálculo de los índices claviculares, sí ofrecen buenos resultados por sí solas. Los valores que se obtienen del Índice de Correlación Intraclass son siempre superiores a 0.7, lo que indican que la técnica es fácilmente repetible y fiable.

Al realizar el análisis de regresión múltiple por pasos sucesivos, se han obtenido unas ecuaciones de regresión que incluyen, tanto a las variables de forma individual, como en combinación entre ellas. Los valores de r^2 indican que las variables que relacionan los índices claviculares son bastante buenas predictoras de la edad por sí solas, pero, combinándolas con las variables que se basan en la densidad de gris mejoran ligeramente el porcentaje de acierto para la edad. Según estos resultados, se podrían utilizar estas ecuaciones como herramientas útiles para la estimación de la edad de la muerte en sujetos adultos.

Los resultados del análisis de las varianzas ANOVA y de subconjuntos homogéneos DUNCAN de las variables categóricas que se han seleccionado para el estudio morfométrico de la clavícula muestran que las variables basadas en la disminución del grosor de la cortical, tanto en la región anterior como en la región posterior, proporcionan intervalos etarios de entre 10 y 20 años y llegan a alcanzar edades de hasta 80 años. Este resultado es muy interesante y esperanzador, ya que, en primer lugar, los intervalos que se obtienen son estrechos y por tanto más precisos y, en segundo lugar, se alcanzan edades de hasta 80 años, cuando los métodos que se están aplicando en la actualidad tan sólo alcanzan hasta los 60 años. Gracias a este estudio se pueden abarcar edades avanzadas que se encuentran más en coherencia con la población actual, que ha aumentado mucho su esperanza de vida en los últimos años.

En cuanto a los resultados que se han obtenido del cálculo de los diámetros trabeculares, tanto en la clavícula como en la escápula, muestran unos valores muy bajos en el Índice de Correlación Intraclase (inferiores a 0.6 en las variables claviculares e inferiores a 0.3 en las variables escapulares), lo que indican que el grado de repetitividad de la técnica es muy bajo. Esto puede explicarse por dos razones: la primera, es que las medidas de los diámetros trabeculares oscilan entre intervalos muy pequeños, de entre 0 y 5 mm, por lo que es difícil tomar las medidas con precisión; y en segundo lugar, porque las regiones seleccionadas, tanto en la clavícula como en la escápula, no son planas y la superposición de estructuras trabeculares puede generar resultados erróneos.

Además, los intervalos etarios que se generan del estudio de análisis de las varianzas ANOVA y de subconjuntos homogéneos DUNCAN, proporcionan intervalos etarios muy amplios, de entre 20 y 40 años y, en ningún caso, llegan a alcanzar los 80 años de edad. Gracias a estos resultados, se puede interpretar que, el estudio y cálculo del

diámetro trabecular, no es un buen indicador para la estimación de la edad de sujetos adultos.

El segundo estudio que se ha realizado en las dos regiones seleccionadas de la escápula: cuello y borde axilar, ha estado basado en las modificaciones que ocurren en la arquitectura trabecular como indicador de la pérdida de materia ósea con el paso del tiempo. Los resultados del estudio morfométrico muestran que el grado de fiabilidad y repetitividad de la técnica es bueno, ya que se han obtenido valores del Índice de Correlación Intraclass superiores a 0.65.

Además, los resultados del análisis de las varianzas ANOVA y de subconjuntos homogéneos DUNCAN, proporcionan cuatro intervalos etarios constantes, de 20 años, y que alcanzan edades avanzadas hasta los 70 años, lo que indica que pueden ser considerados como buenos indicadores para la estimación forense de la edad en sujetos adultos.

El último estudio que se ha realizado para la estimación de la edad de la muerte en sujetos adultos, ha sido el que relaciona los tiempos de fusión de las dos articulaciones del esternón: articulación manubrioesternal y articulación xifoesternal, con la edad. En ambos casos se han obtenido buenos resultados para el Índice de Correlación Intraclass (superiores a 0.8). Sin embargo, no se han encontrado diferencias entre los grupos de clasificación de las variables de agrupación utilizando el estudio de análisis de las varianzas ANOVA. Esto indica que el grado de variabilidad de la fusión de ambas articulaciones es demasiado alto como para poder asignarle una correlación con la edad, por lo que se recomienda ser muy prudente a la hora de utilizar estos parámetros como indicadores forenses de la edad.

En cuanto al estudio de la mayoría de edad legal, los resultados muestran que, tanto para la fusión de la extremidad esternal de la clavícula como para la fusión de la epífisis proximal del húmero, se obtienen valores superiores a 0.8 en el Índice de Correlación Intraclass. Estos resultados son muy esperanzadores ya que indican la fácil repetitividad de la técnica empleada.

Por su parte, los resultados obtenidos en el análisis de las varianzas ANOVA y en el estudio de subconjuntos homogéneos DUNCAN, muestran que no existen diferencias

significativas entre grupos en ambas variables, generándose cuatro fases de fusión para la clavícula y seis fases de fusión para el húmero.

Los intervalos etarios proporcionados para el cierre de la epífisis esternal de la clavícula indican que, una fase 0 de fusión correspondería a un sujeto menor de 18 años en caso del sexo masculino, y menor de 16 años en caso de sexo femenino; mientras que, una fase 3 indicaría una edad mayor de 19 años para sujetos masculinos, y mayor de 18 años para sujetos femeninos.

Los resultados que se han obtenido para la fase 0 se encuentran en concordancia con los estudios anteriores que se han consultado en la bibliografía. Sin embargo, en los resultados obtenidos para la fase 3 se obtienen edades de fusión completa mucho más tempranas que en el resto de los estudios revisados, a excepción de uno de los más recientes que también fue desarrollado con técnica ecográfica.

Estas diferencias pueden tener relación, en primer lugar, con la técnica empleada, que en ambos casos ha sido la ecografía, y es posible que el poder de detección de esta técnica sea diferente de las anteriormente empleadas; y en segundo lugar, puede tener relación con los hábitos sociales y nutricionales que han sufrido las poblaciones occidentales en los últimos años, que han hecho que el proceso madurativo se acelere.

En el caso del cierre de la epífisis proximal del húmero, se han establecido seis fases de fusión. La última fase determina que todos los individuos, de ambos sexos, que se encuentren en un grado de fusión total o fase 5, tendrán una edad superior a 17 años. Este resultado se encuentra en concordancia con los trabajos revisados de autores anteriores. Sin embargo, este resultado no es muy esperanzador para el objetivo de este estudio ya que sólo podría establecerse que un individuo es mayor de 17 años, pero en ningún caso, se podría estimar la mayoría de edad legal.

No obstante, la aplicación conjunta de este método junto con el que proporciona el cierre epifisario de la extremidad esternal de la clavícula, podrían proporcionar buenos resultados ya que las edades de fusión son complementarias y los resultados de una prueba podrían apoyar a los resultados de la otra.

Haciendo un balance general de todos los métodos empleados en el desarrollo de este estudio, cabría concluir que para la estimación de la edad de la muerte, las ecuaciones de regresión, así como las categorías de disminución del grosor cortical de la clavícula

son buenos indicadores de la edad en sujetos adultos. Además, proporcionan resultados muy novedosos que incluyen intervalos etarios que alcanzan hasta los 80 años de edad, lo que lo convierte en el primer estudio que incluye población de edades tan avanzadas. Por otro lado, el estudio de la arquitectura trabecular en la escápula también ha proporcionado buenos resultados, generando intervalos de edad estrechos que llegan hasta los 70 años, lo que incluye este método dentro de las herramientas útiles para la estimación de la edad en sujetos adultos.

Finalmente, para la estimación de la edad de la muerte, los métodos que implican el cálculo del diámetro trabecular así como los métodos que incluyen la fusión de las dos regiones articulares del esternón, han demostrado no presentar buena correlación con la edad, bien por su variabilidad o bien por la dificultad para la obtención de las medidas. Por estas razones, se desaconseja su uso con fines forense.

Por último, en relación al estudio de la mayoría de edad legal, cabe comentar que la técnica ecográfica ha demostrado ser una técnica novedosa, inocua, limpia y rápida que proporciona un poder de detección muy fiable. Los resultados obtenidos incluyen intervalos etarios muy cercanos a los 18 años de edad que podrían ser de utilidad en casos de interés forense, siendo la variable que mejor actúa la que relaciona la fusión de la epífisis esternal de la clavícula con la edad.

Para concluir, se podría decir que algunos de los métodos desarrollados en este trabajo aportan datos novedosos, de fácil aplicación y útiles para la estimación forense de la edad, tanto en cadáver esqueletizados de sujetos adultos, como para la estimación de la mayoría de edad legal en sujeto vivo.

3. SUMMARY

Forensic Anthropology is a recent subdiscipline, dating back to the early twentieth century, which is included within the Physical Anthropology and closely linked to the Legal Medicine, and whose main objective is the development of the biological profile of a person for identification purposes.

Identification is a systematic and rigorous process that requires several parameters of study, of which, one of the most important is age estimation.

For its study is necessary to know the morphological changes that occur in the human skeleton to compare them with the patterns described in reference collections of individuals with known age, taking into account the specific characteristics of different population groups, sexual dimorphism or some epigenetic characters.

The recent demand by the Administration of Justice of studies that require the estimation of age in the context of Forensic Anthropology compelled an increase of researches regarding the improvement of the current techniques.

The methods used for estimating age are very different depending on the cases; for subadult individuals, who have not reached skeletal maturity, the methods are based on the patterns of growth and development of bones and teeth; while, for adult subjects, who have already reached the bone maturity, the methods are based on degenerative changes experienced by the human skeleton.

In subadult subjects, growth patterns follow a homogeneous process that is easily predictable. The maturation of bones and teeth has been studied repeatedly in very different populations, with quite reliable results.

In this line of research is where the estimation of the legal age can be found. These studies are based on the use of the age estimation in a legal context in order to implement the rights to undocumented children who arrive in any member country of the European Community. These studies are also used in order to properly apply the criminal code and protect individuals in cases of children who may have committed a crime.

To achieve these, expert reports have established a number of parameters to be studied in order to homogenize the study techniques and standardize the expert process. The tests to be performed are: physical examination, radiographic study of carpal bone

maturation of the left hand, the radiographic study of the eruption of third molars by orthopantomography and the study by radiography or Computed Tomography in the sternal epiphysis of the clavicle.

These tests should be able to answer questions proposed by the Administration of Justice. However, the problem in these cases is that the age range required is quite small (older or younger than 18 years old) and sometimes it is not possible to give an answer.

Other reports that may arise in the courts are Forensic Anthropology studies related to the identification of one or several bodies, totally or partially skeletonized adult subjects.

In these cases, the estimation of age-at-death is very important as a fundamental parameter in the establishment of the biological profile of a subject. The methods applied when the maturing process of the human skeleton is already complete are based on degenerative processes. These methods often do not provide very reliable results since degenerative processes are strongly influenced by external factors such as physical activity or socioeconomic status, resulting in mismatches between the chronological and the biological age.

Most of the methods used to estimate the age-at-death, are based on the observation of morphological changes occurring in specific anatomical regions. These changes can be observed directly or through complementary techniques such as radiography, which allows the observation of internal bone structures which are not observable to the naked eye.

As a result of the need of more accurateness in age estimation in the context of Forensic Anthropology, the present investigation was developed with two aims: first, to perform a morphometric and image analysis study on radiographs of adult individuals, in order to create a method that could be applied to forensic study of age-at-death; and second, to design a new method using ultrasound, as a diagnostic technique, to improve the accuracy of age estimation in cases which require the knowledge of the legal age of a subject.

To carry out this study, four anatomical regions were selected. Three of these regions concern the clavicle, scapula and sternum and were selected for age-at-death estimation

due to its easy accessibility and the reduced biomechanical load to which they are subjected to.

On the other hand, for the study involving the estimation of legal age, the sternal epiphysis of the clavicle and the proximal epiphysis of the humerus were selected. In this case, the selection was based on the fusion time of two regions which are close to the age range sought (18 years old).

The study sample for the age-at-death estimation was composed of all the clavicles, scapulas and sterna of adult individuals, older than 20 years old, who belong to the collection of identified skeletons of the School of Legal Medicine of Madrid. Eliminating those that were damaged or which were bad preserved, 332 clavicles (172 men and 160 women), 226 scapulas (124 men and 102 women) and 157 sterna (95 men and 62 women) were analyzed.

The sample used for the legal age estimation study was composed of ultrasound images of 221 pupils (75 men and 146 women) whose ages were between 5 and 30 years old, from High Schools and Degrees in Biomedical Sciences of the Madrid Community, who voluntarily agreed to collaborate with this research. From them, ultrasound images were obtained, in the sternal epiphysis of the clavicle and in the proximal epiphysis of the humerus.

To obtain radiographic images of the clavicles, scapulae and sterna an X-ray generator SEDECAL, SHF 145 model was used and the same radiographic data were always applied to obtain radiographs. Thus, the changes observed on radiographs may only be due to degenerative processes and are not related to variations in the incidence and the X-ray penetration. All these images were scanned using an Epson Expression 1640 scanner XL and subsequently, incorporated in a database.

Two different studies were performed on radiographs of the clavicles: an image analysis study and a morphometric one.

The first study relates gray variations (in the sternal and the acromial end of the clavicle) and the clavicular indices (obtained as the relationship between cortical thickness, anterior and posterior region of the clavicle, with the total thickness, at the midshaft) to the age-at-death.

The second one is about a morphometric study based on the establishment of five categories of thinning of the cortex of the clavicle, in the anterior and posterior region, and their relation to age-at-death; and the calculation of the increase in trabecular diameter in the sternal extremity, acromial and midshaft, as an indicator of bone loss associated to age.

Besides, a morphometric study on scapulae radiographs in two selected regions: neck and axillary border, were performed. On them, two parameters related to bone loss have been studied: the first one, based on the increasing of the trabecular diameter size as an indicator of changes in the trabecular system and the second one, based on the changes in the trabecular architecture and its relationship with age-at-death.

Finally, fusion times of the two joints of the sternum (manubriosternal and xiphisternal) were studied. For this, three categories of fusion were established, absence of fusion, partial fusion and total fusion.

For the estimation of legal age, an ultrasound device MyLab 60 in the B-Mode format which has a linear probe LA 523 incorporated was used. Subsequently, all the ultrasound images were analyzed using the MyLabDesk 3.04 software.

Ultrasound images were obtained with the probe on a perpendicular position to the studied epiphyseal region. On them, four stages of fusion on the sternal epiphysis of the clavicle and six stages of fusion on the proximal humeral epiphysis were established.

All data obtained were subjected to statistical analysis. The method used was statistical multiple stepwise regression in the case of continuous variables: density of gray and clavicular indices.

The categorical variables (cortical thickness of clavicle, increased trabecular diameters, trabecular architecture, fusion of the two joints of the sternum and epiphyseal closure in the sternal end of the clavicle and the proximal epiphysis of the humerus) were subjected to a study of analysis of variance ANOVA and homogeneous subsets DUNCAN, in order to discern between groups. Therefore, age ranges can be set for each category and they may be used for forensic age estimation.

The results show that, for the study of the age-at-death in adult subjects, the variables that are related to the gray density do not provide very good results by themselves. The

results of Intraclass Correlation Index show values below 0.6, which indicate a low repeatability of the method. This result can be explained by the difficulty of standardizing the measurement.

Furthermore, the variables involving clavicular indices do provide good results by themselves. The values obtained from the Intraclass Correlation Index are always higher than 0.7, which indicates that the technique is easily repeatable and reliable.

When analyzing the multiple stepwise regression, the equations obtained include both variables individually, or in combination. r^2 values indicate that the variables related to the clavicular indices are fairly good predictors of age by themselves, but when combined with the variables that are based on grey density the success rate for age is slightly improved. According to these results, these equations could be used as useful tools for age-at-death estimation in adult subjects.

The results of the analysis of variance ANOVA and homogeneous subsets DUNCAN of categorical variables that were selected for morphometric study of the clavicle, show that variables based on the thinning of the cortex, provide age intervals between 10 and 20 years old and they can reach up to 80 years of age. This result is very interesting and promising, since, firstly, the obtained age intervals are narrow, and secondly, they reach up to 80 years old.

The results obtained from the increasing of the trabecular diameter size in both the clavicle and scapula, show very low values in the Intraclass Correlation Index (below than 0.6 in clavicular variables and below 0.3 in scapular ones), which indicate that the degree of repeatability of the technique is very low. This can be explained by two reasons: first, the measures of trabecular diameters rang from very small intervals between 0 and 5 mm, so it is difficult to make accurate measurements; and secondly, due to the selected regions, both in the clavicle and the scapula, are not flat and overlapping trabecular structures which may generate erroneous results.

In addition, the age ranges that are generated from the study of analysis of variance ANOVA and DUNCAN homogeneous subsets provide very broad age ranges between 20 and 40 years and, in any case, they can reach up 80 years old. Thanks to these results, it can be interpreted that the study of trabecular diameter is not a good indicator for estimating the age-at-death of adult subjects.

The second study was performed in the two selected regions of the scapula: neck and axillary border, and was based on changes occurring in the trabecular architecture as an indicator of bone loss. The results of the morphometric study show that the reliability and repeatability of the technique is good, as it can be observed in the values of Intraclass Correlation Index which are greater than 0.65.

Furthermore, the results of analysis of variance ANOVA and DUNCAN homogeneous subsets provide four constant age intervals of 20 years and they reach up to 70 years old, indicating that they can be considered good indicators for forensic age-at-death estimation in adult subjects.

The latest study conducted to estimate the age-at-death in adult subjects, was linked to fusion times of the two joints of the sternum: the manubriosternal and the xiphisternal joint. In both cases, they were successful in the Intraclass Correlation Index (higher than 0.8). However, differences between classification groups were not found using the ANOVA analysis of variance. This indicates that the degree of variability of the fusion of the two joints is too high to be able to assign a correlation to age-at-death, so caution is recommended about the use of these parameters as forensic indicators of age-at-death.

For the adulthood legal age, the results show that for both the fusion of the sternal end of the clavicle and to the proximal epiphysis of the humerus, higher values were obtained at 0.8 in the Intraclass Correlation Index. These results are very encouraging as they indicate the easy repeatability of the technique.

Meanwhile, the results of the analysis of variance ANOVA and homogeneous subsets DUNCAN study, show no significant differences between groups in both variables, generating four fusion phases in the clavicle and six fusion phases in the humerus.

Age ranges provided for the closure of the sternal epiphysis of the clavicle indicate that phase 0 corresponds to a subject younger than 18 years old if male, and under 16 years old if female; whereas, a phase 3 would indicate that the subject is older than 19 years old if male and older than 18 years old for female subjects.

The results which were obtained for phase 0 are consistent with previous published studies. However, the results obtained in phase 3 were not consistent with the consulted literature. These results show much younger individuals of complete fusion, except for

one of the most recent study which was also developed also with an ultrasound technique.

These differences may be related to: first, to the ultrasound technique used in both cases, and the different detection power between previously used methods; and secondly, it may be related to changes in the social and nutritional habits of Occidental populations in recent years, which have changed the speed of the maturing process.

For the closure of the proximal humeral epiphysis, six phases of fusion were established. The last phase determines that all individuals, of both sexes, who are in a degree of total fusion or phase 5, will be over 17 years old. This result is in accordance with previous researches. However, this result is not very encouraging for the purpose of this study since it only establishes that an individual is older than 17 years old but, in any case, the adulthood legal age can be estimate.

Nevertheless, the combined application of this method along with the one provided from the epiphyseal fusion of the sternal end of the clavicle, provide better results because fusion ages are complementary and test results support the others ones.

Summing up of all the methods used for the development of this study, it might be concluded that, the regression equations and the categories of cortical thickness decreasing of the clavicle are good indicators of age-at-death in adult subjects. They also provide new results that include age ranges reaching up to 80 years old, making it the first population study that includes such advanced ages.

Furthermore, the study of the trabecular architecture in the scapula also provided good results, generating small age intervals reaching up to 70 years old. This means, this method is an useful tool for the estimation of age-at-death in adult subjects.

Lastly, for estimating the age-at-death, methods involving the increasing of the trabecular diameter as well as methods including fusion of the two joint regions of the sternum, have proved a bad correlation to age-at-death, due to their variability or difficulty to obtain the measurements. For these reasons, their use is discouraging for forensic purposes.

Finally, for the adulthood legal age study, it should be mentioned that the ultrasound technique has proved to be a novel, safe, clean and quick technique that provides a very

reliable detection power. The results include age intervals very close to the 18 years old that can be useful in cases of forensic interest, being the best variable the time of fusion of the sternal ephyphysis of the clavicle.

In conclusion, it could be said that some of the methods developed in this study provide new data, easy to apply and useful for forensic age estimation, both in skeletonized remains of adult individuals as well as to estimate the adulthood legal age in the living subjects.

4. INTRODUCCIÓN

4. 1 LA ANTROPOLOGÍA FORENSE, ORÍGENES Y PERSPECTIVA ACTUAL

El estudio de los seres humanos desde un punto de vista biológico, social y humanista no ha despertado el interés de los investigadores en los tiempos actuales, sino que su estudio es tan antiguo como la historia de la humanidad. Desde el inicio de los tiempos, historiadores y eruditos han escrito sobre culturas de pueblos diferentes a las suyas. Así, el historiador griego, Heródoto, fue el autor de la primera obra, “*Talía*”, que con un enfoque científico, trató de informar tanto de las diferentes culturas de pueblos que se encontraban alejados geográficamente, como de describir variaciones anatómicas en cráneos de distintas poblaciones (Heródoto, 440 a.C).

Desde sus orígenes, la evolución del estudio de la diversidad física y biológica de los seres humanos ha estado íntimamente ligada al estudio de la anatomía y la patología humana. Por esta razón muchos patólogos, anatomistas e incluso religiosos fueron considerados pioneros en este tipo de estudios.

Actualmente, la Antropología Física es una ciencia que, incluida dentro de las ciencias naturales, se ocupa principalmente de reconstruir la línea evolutiva del hombre, el estudio de la primatología y la biología humana. Ésta última sería la parte de la Antropología Física que estudia la diversidad humana y cuyo objetivo es explicar los mecanismos que generan variabilidad desde el punto de vista evolutivo, ecológico y ontogenético, y relacionan esta variabilidad con información sobre salud y enfermedad, así como con los diferentes factores socio-económicos y culturales, que han afectado durante la historia a las poblaciones que vivieron en el pasado y afectan, a día de hoy, a las poblaciones presentes (Benito, 2011).

Desde que en el año 2000, la UNESCO reconoce a la Antropología Física como área científica de conocimiento, aumenta exponencialmente el reconocimiento tanto científico como institucional de esta disciplina, que ha tenido una gran proyección internacional en las últimas dos décadas.

Dentro de la Antropología Física y muy vinculada a la Medicina Legal surge la Antropología Forense, que es una subdisciplina que aplica la metodología y técnicas de la Antropología Física para solventar cuestiones de interés legal.

Desde sus orígenes, en el siglo X, hay muchos autores que han establecido una definición para la Antropología Forense. En orden cronológico, Dale Stewart, la define como, “la rama de la Antropología Física que, con fines forenses, trata de la identificación de restos más o menos esqueletizados, humanos o de posible pertenencia humana” (Stewart, 1979). Más tarde Mehmet Yasar Iscan, la define como “el estudio y práctica de la aplicación de los métodos de la Antropología Física en los procesos legales” (Isan, 1981). Por último, el que se ha considerado padre de la Antropología Forense, Wilton Marion Krogman, la define como “la reconstrucción de la biografía biológica antemortem, incluyendo el intento de reconstrucción de la forma de vida de la víctima hasta el momento de su muerte” (Krogman, 1986).

Mientras que en el proceso de formación de los antropólogos forenses americanos la rama de la antropología social tiene mucha relevancia, así como los procedimientos de excavación y exhumación, en Europa y Asia la Antropología Forense está contemplada dentro de la biología humana. Los fundadores de las escuelas europeas donde se enseñaba esta disciplina fueron cirujanos (Paul Broca), patólogos (Rudolf Virchow), naturalistas (A.P. Bogdanov) y biometristas (Karl Pearson). La situación socioeconómica en Europa, junto con las tendencias académicas citadas anteriormente, ha hecho que los antropólogos forenses se encuentren más vinculados a casos de identificación individual en temas de delincuencia común.

Sin embargo, la situación de los antropólogos forenses en América Latina es muy diferente en la actualidad. La situación social y económica ha generado que aumenten los casos de desaparición forzada llegando a cifras dramáticas en muchos países, lo que ha provocado que la figura del antropólogo forense no se limite exclusivamente a identificación de víctimas en casos de delincuencia común, sino que dicha figura esté vinculada a casos de derechos humanos donde no sólo es importante la realización de perfil biológico del individuo, sino que adquieren mucha relevancia los aspectos históricos, sociales y jurídicos (Rodríguez, 2004).

En España, la Antropología Forense comienza a desarrollarse a mediados del siglo XIX a la vez que la creación de la Medicina Legal moderna (Prieto, 2008). EN 1895 se fundó la Sociedad Antropológica Española por el Dr. Pedro González de Velasco, y empezaron a aparecer las primeras publicaciones sobre Antropología (Revista de Antropología, 1874 y Antropología Moderna, 1883). Durante finales del siglo XIX y

primeros del siglo XX, la Antropología se encuentra totalmente vinculada a las cátedras de Medicina Legal como ciencia auxiliar para el esclarecimiento de la identidad de sujetos vivos y cadáveres. Mientras en América y Europa se iba desarrollando rápidamente la Antropología Forense, no es hasta principios de los años 80, cuando se crea el primer laboratorio de Antropología Forense y Paleopatología en España, en el seno de la Escuela de Medicina Legal de Madrid a cargo del Profesor José Manuel Reverte Coma (Reverte, 1991). A partir de esta fecha, y gracias a la creación de asociaciones como la Asociación Española de Paleopatología, en 1986 y la Asociación Española de Antropología y Odontología Forense, en 2008 se han incrementado exponencialmente los estudios e investigaciones sobre esta disciplina.

En la actualidad, la Antropología Forense, aunque incluida dentro de la Antropología Física, se viene desarrollando en España dentro de los Institutos de Medicina Legal, Instituto Nacional de Toxicología y Ciencias Forenses con sede en Madrid, Departamentos universitarios de Medicina Legal, como los de Madrid, País Vasco, Granada y Valencia, y áreas de Policía Científica de los Cuerpos y Fuerzas de Seguridad del Estado (Policía Nacional y Guardia Civil). Con el aumento de los trabajos científicos y de la demanda de casos judiciales que requieren de especialistas en esta disciplina, se hace inevitable la subespecialización dentro de esta área de trabajo, por lo que las perspectivas futuras van encaminadas a la escisión de la Antropología Forense como área científica independiente que a su vez esté dividida en diferentes especialidades. De esta manera será cada vez más fácil abordar casos de interés judicial con mayor certeza. Este modelo ya está ocurriendo en algunos países de Europa donde se han creado grupos específicos y especializados, como es el caso del grupo alemán para el estudio sobre el diagnóstico forense de la edad (AGFAD) que proporciona una acreditación especial para la capacitación de profesionales dentro de esta área específica de la Antropología Forense (Schmeling *et alii.*, 2008).

4. 2 LA IMPORTANCIA DEL ESTUDIO DE LA EDAD COMO PARÁMETRO FUNDAMENTAL PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL PERFIL BIOLÓGICO

Las diferencias individuales entre cada uno de nosotros son la clave para la identificación humana. De esta manera, la realización del perfil biológico de un sujeto

es la herramienta que utiliza el antropólogo forense para esclarecer la identidad de una persona. No obstante, la misión de la Antropología Forense no se centra exclusivamente en la realización del perfil biológico, sino que trata de llevar a cabo un proceso sistemático y metodológico, basado en las técnicas que se utilizan en Antropología Física para discernir entre individuos. De esta manera, los métodos usados aportan información sobre: la estimación de la edad, sexo, grupo poblacional, estatura y variantes de la normalidad, tanto de individuos vivos como de cadáveres en diferentes estados de conservación que no hayan sido identificados; así como a esclarecer el tiempo que ha transcurrido desde el momento de la muerte y las circunstancias que se deriven de ésta.

La realización del perfil biológico de un sujeto puede ser un proceso complicado dependiendo de la conservación y preservación de los restos con los que se trabaje. Uno de los parámetros más importantes por su implicación en la individualización humana es el estudio de la estimación de la edad. Lamentablemente, el estudio de la edad es, a su vez, uno de los parámetros más difíciles de estimar, especialmente en adultos.

El estudio para la estimación de la edad está basado en la observación de los cambios morfológicos que ocurren en el esqueleto humano a lo largo del tiempo, y en la comparación de estos cambios con los datos obtenidos de estudios sobre poblaciones de referencia de edades conocidas, teniendo en cuenta cualquier fuente de variabilidad, como pueden ser, el grupo poblacional o el sexo del individuo, que puedan existir entre el sujeto dubitado y la población de comparación (Benito, 2011)

No es lo mismo abordar el estudio de la estimación de la edad en sujetos vivos que en cadáveres no identificados, y dentro de estos últimos, la estimación de la edad en individuos adultos entraña mucha más dificultad que en sujetos subadultos, ya que en los segundos los cambios morfológicos que sufre el esqueleto están basados en el crecimiento de los huesos y dientes, y las técnicas diseñadas para la obtención de los intervalos de edad son bastante fiables. Por el contrario, en sujetos adultos, los cambios morfológicos están basados, en su mayoría, en procesos degenerativos y debido a que el envejecimiento está muy vinculado a factores ambientales, socioeconómicos y de salud, las técnicas que se emplean para la estimación de la edad no presentan muy buena correlación entre la edad real y la edad ósea de los individuos.

4. 2. 1 LA ESTIMACIÓN DE LA EDAD EN SUJETOS SUBADULTOS

La estimación de la edad en sujetos subadultos está basada en estudios sobre crecimiento y desarrollo. Para el establecimiento de la edad fisiológica en casos de interés judicial se utilizan, conjuntamente, patrones de crecimiento de piezas dentales y madurez ósea. Siendo ambos buenos indicadores de edad, el crecimiento dental está menos afectado por endocrinopatías y otros desajustes del desarrollo implicados en la maduración sexual, y por ello, presenta, en general, una ventaja frente a la maduración ósea (Smith, 1991).

El estudio del desarrollo dental engloba dos aspectos diferenciados: la maduración y la erupción de las piezas dentales. Ambos son buenos indicadores de edad, aunque es más fiable el grado de calcificación dental debido a que la formación de las piezas dentales no está tan sujeta a factores ambientales como la erupción dental, que puede verse afectada por el impacto de procesos infecciosos, mala higiene bucodental, malnutrición o por la influencia de las tendencias seculares (Rodríguez, 2004), (Smith, 1991).

El crecimiento de las piezas dentales se inicia en la cúspide de la corona y va formándose en sentido apical hasta el cierre completo de la raíz. La erupción dental se produce, aproximadamente, cuando se ha formado un tercio de la raíz del diente, y es en este momento cuando la pieza dental emerge del alveolo óseo. A partir de ahí continúa su crecimiento dentro del alveolo dentario hasta concluir el cierre apical. En los dientes deciduos se produce una calcificación cuando la pieza dental se está formando y una descalcificación de la raíz que coincide con la formación de los dientes permanentes (Rissech, 2008). Esta descalcificación provocará la caída del diente cuando la pieza definitiva esté preparada para su erupción.

El patrón de desarrollo de las piezas dentales está menos sujeto a variaciones de tipo ambiental que la erupción, y en general, es bastante homogéneo. En este sentido, y aunque aún queda mucho campo de trabajo por investigar, existen diversos estudios para la estimación de la edad a partir de la maduración y erupción dental, (Schour y Massler, 1941), (Morrees *et alii.*, 1963)(Figura 1), (Van der Linden y Duterloo, 1976), (Crétot, 1978), (Ubelaker, 1978)(Figura 2) y (Smith, 1991). La aplicación de los

métodos basados en la calcificación y erupción dental son muy fiables, sobre todo en edades muy tempranas, como el periodo fetal o perinatal, sin embargo, la precisión se va perdiendo a medida que la edad del sujeto aumenta, volviéndose más complicada a partir de los 12 años.

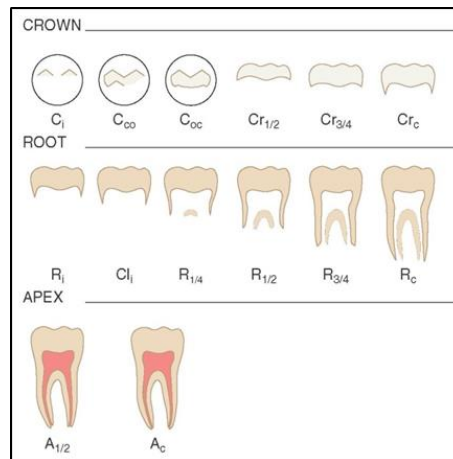


Figura 1. Estados de maduración de los molares permanentes (Moorrees, 1963)

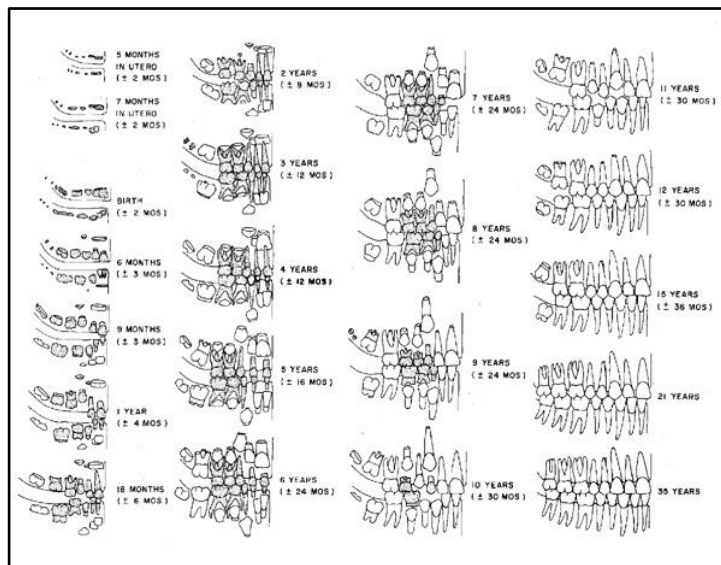


Figura 2. Esquema de erupción dental (Ubelaker, 1978)

La maduración esquelética por su parte dista de ser tan fiable como la maduración dental ya que las velocidades de fusión epifisaria pueden estar influenciadas por factores ambientales, como el clima y el régimen alimentario. Por ello sería recomendable la realización de estándares para cada población específica con el fin de minimizar los errores. Los estudios sobre maduración ósea están basados en la aparición, morfología y

fusión de los diferentes centros de osificación que aparecen en los huesos (Rissech, 2008).

Para la estimación de la edad en individuos fetales o perinatales, de menos de un mes de vida, los métodos más útiles son los estudios sobre el desarrollo y fusión de los huesos de cráneo (Noback, 1943), (Weaver, 1979), (Ohtsuki, 1977), (Ohtsuki, 1980), (Scheuer y Black, 2000) y la aparición de los diferentes centros de osificación (Noback, 1943), (Noback, 1944), (Garn *et alii.*, 1967), (O’Rahilly y Gardner, 1996), (Scheuer y Black, 2000).

Para el estudio de huesos largos de individuos fetales o perinatales, hay varios estándares actuales (Olivier y Pineau, 1960), (Fazekas y Kósa, 1978), (Scheuer *et alii.*, 1980), (Scheuer y Mclaughlin-Black, 1994), (Castellana y Kósa, 1999), (Kósa y Castellana, 2005). A partir del nacimiento, también se han creado estándares de utilidad para el crecimiento postnatal (Maresh, 1955), (Alduc-le Bagousse, 1988), (Hoppa, 1992), (Miles y Bulman, 1994), (Miles y Bulman, 1995), (Majó, 2000), (Rissech y Malgosa, 2005), (Rissech y Black, 2007), (Rissech *et alii.*, 2008).

A medida que se va aumentando en edad, los métodos anteriores, al igual que ocurre en los métodos de crecimiento dental, van perdiendo precisión y se hace necesario el uso de otro tipo de estudios. La fusión de los cartílagos metafisarios está indicada en individuos de entre 12 a 20 años. Durante el crecimiento de los huesos largos es posible diferenciar tres partes, la diáfisis y las epífisis, ambas formadas por tejido óseo, y la metáfisis o cartílago de crecimiento que está formada por tejido cartilaginoso. Desde el nacimiento, los huesos largos crecen en longitud hasta que las epífisis y las diáfisis se fusionan y el crecimiento termina. El crecimiento longitudinal sigue una velocidad mucho más elevada en las etapas iniciales del desarrollo y se va ralentizando a medida que se va alcanzando la edad adulta (Rissech, 2008). El cierre de los cartílagos metafisarios sigue un patrón, en general, homogéneo en los diferentes grupos poblacionales, aunque con variaciones debidas a factores ambientales y socioeconómicos. Aparte de las diferencias entre poblaciones humanas, también se han descrito diferencias debidas a la sexo, con un margen que oscila entre los dos y los seis años, ya que el crecimiento longitudinal de los huesos largos concluye antes en mujeres que en hombres.

Se han realizado estudios en casi todos los huesos del cuerpo, (Stevenson, 1924), (Todd y D'enrrico, 1928), (Francis *et alii.*, 1940), (McKern y Stewart, 1957), (Owings y Suchey, 1985), (Maples, 1995), (Black y Scheuer, 1996), (Albert, 1998), (Kahana *et alii.*, 2003). En población europea hay pocos estándares publicados, y los que hay sobre todo se han centrado en la extremidad esternal de la clavícula (Schaefer y Black, 2005). Se han realizado para el cierre de los cartílagos metafisarios varios esquemas, el que más se utiliza es el estándar de Scheuer y Black, del 2000 (Scheuer y Black, 2000) (Figura 3).

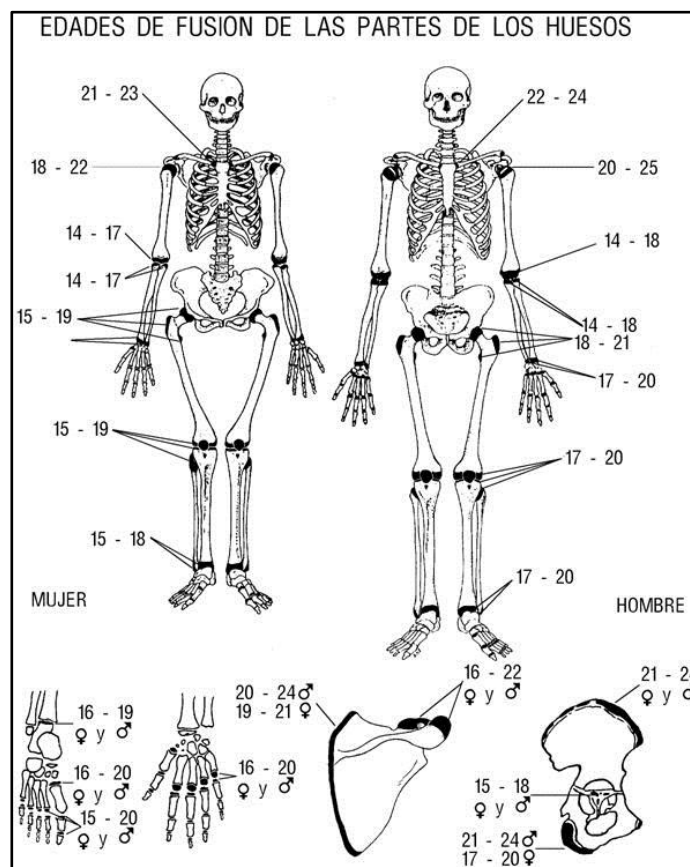


Figura 3. Esquema explicativo de la fusión epifisaria en el esqueleto humano según el sexo (Scheuer y Black, 2000).

El crecimiento, en general, sigue un ritmo homogéneo durante todo el proceso, aunque hay variaciones individuales y poblacionales (Cardoso, 2005). La tasa de crecimiento no es constante, sino que varía a lo largo de las diferentes etapas. Por ejemplo, la etapa

anterior al brote prepuberal presenta, normalmente, una tasa de crecimiento casi nula, mientras que durante el brote puberal hay un fuerte aumento en el crecimiento.

4. 2. 2 LA PROBLEMÁTICA EN LA ESTIMACIÓN DE LA MAYORÍA DE EDAD LEGAL

La estimación de la edad en sujetos subadultos no supone un problema muy grande cuando es necesaria la identificación de un individuo ya que, los métodos basados en el crecimiento y maduración de huesos y dientes siguen un patrón homogéneo que permite relacionar con bastante precisión la edad biológica y la real del sujeto de estudio.

Durante las primeras etapas del crecimiento, hasta los 12 años aproximadamente, la calcificación y erupción dental son métodos muy precisos. A partir de esta edad, es más fiable el uso de la maduración de los huesos largos, y por eso, casi todos los estudios están orientados al cierre de los cartílagos metafisarios como patrón de crecimiento.

Cuando hay que abordar un caso de Antropología Forense en el que hay que identificar el cadáver de un sujeto subadulto, los métodos anteriormente citados pueden aportar información con márgenes de error de entre 2 y 36 meses en caso de la erupción dental (Ubelaker, 1989) y de entre 4 y 10 años en el caso del cierre de los cartílagos metafisarios (Buikstra *et alii.*, 1994). Estos resultados son bastante buenos si se comparan con los resultados que se obtienen para la estimación de la edad en sujetos adultos.

Pero la Antropología Forense, no sólo se aplica al estudio de la estimación de la edad de cadáveres no identificados, sino que también engloba la estimación de la edad en casos de sujetos vivos.

Durante los últimos años los países miembros de la Comunidad Europea han sufrido un aumento exponencial del número de inmigrantes indocumentados de otros países. Según los datos de la ONU, en 2014, se han triplicado en Europa el número de personas indocumentadas desde el 2013. Entre enero y abril de este año fueron detectados de manera irregular 42.000 inmigrantes, según los datos de Frontex (agencia europea de control de fronteras). La mayoría de las personas indocumentadas proceden de África y

Oriente Próximo y acceden a la Comunidad Europea a través de Italia y España. Un 63% de estas personas se desplazan a Europa por razones de violencia, intimidación a las minorías, hambre o guerras.

En España, más de 7.500 inmigrantes ilegales entraron por la frontera sur en 2013. Las principales vías de acceso fueron Melilla, Ceuta y Cádiz. Los inmigrantes indocumentados, según las leyes vigentes (Ley Orgánica 4/2000, BOE núm 10) deben ser debidamente identificados al entrar en el país para asegurar el cumplimiento de sus derechos. En el caso de ser menores de edad, se harían beneficiarios de una serie de medidas legales favorables tanto en lo relativo a su tratamiento como inmigrantes en países comunitarios, como en el caso de ser víctimas o responsables de conductas delictivas (Garamendi y Landa, 2003). La mayoría de las veces la identificación completa no es posible ya que no existe documentación fehaciente que permita el cotejo, lo que sí es posible es la determinación de la edad del supuesto menor.

Debido al aumento de casos en los que los tribunales de justicia solicitan este tipo de estudios se elaboró, como iniciativa del grupo alemán para el diagnóstico de la edad forense (Arbeitsgemeinschaft für Forensische Altersdiagnostik, AGFAD), una guía en la que se incluían las recomendaciones para la estimación de la edad de sujetos vivos implicados en procedimientos judiciales (Schmeling *et alii.*, 2001; Study Groups of Forensic Age Estimation of the German Association of Forensic Medicine, 2001). La finalidad de esta guía fue la aplicación de un protocolo común para la estimación de la mayoría de edad legal (18 años) en cualquier persona indocumentada.

La guía incluye un procedimiento dividido en cuatro partes: Examen físico, examen radiográfico de la mano izquierda, examen externo del estado de la dentición y radiografía dental y examen radiográfico de la región cervical.

El examen físico del supuesto menor incluye la obtención de las medidas antropométricas como peso, talla, constitución o IMC, así como la inspección de signos de madurez sexual y la identificación de patologías que pudieran alterar el crecimiento normal. Para la estimación de la edad, basándose en las medidas antropométricas, es necesaria la comparación de estas variables con las obtenidas de referencia en la población a la que pertenezca el sujeto de estudio ya que, de otro modo, se podría sobre- o subestimar la edad (Bueno *et alii.*, 1996). Por esta razón, se recomienda que no se utilicen las medidas antropométricas como único examen para el diagnóstico de la edad

en sujetos vivos. En cuanto a los signos de madurez sexual se utiliza un sistema en el que se valoran nueve características: desarrollo del vello axilar y vello pubiano, desarrollo mamario, desarrollo de genitales externos, volumen testicular, longitud del pene flácido, menarquia, espermaquia y características de la voz (Tanner, 1962). Al igual que en el caso de las medidas antropométricas, la evolución de estos caracteres de maduración sexual no están estudiados en todas las poblaciones por lo que la precisión en la interpretación de los resultados no es muy elevada.

Otro de los parámetros de estudio para la estimación de la mayoría de edad legal, según las recomendaciones de la AGFAD, es el examen radiológico del carpo de la mano izquierda. Existen tres métodos para estimar la edad ósea en función de la maduración de los huesos del carpo: un atlas gráfico basado en la maduración ósea a través de caracteres cualitativos (Greulich y Pyle, 1950-1954), un método numérico que presenta unas fórmulas matemáticas que deben compararse con tablas específicas para cada población estudiada (Tanner-Whitehouse, 1983) y métodos mixtos que usan datos cualitativos y cuantitativos. Los dos primeros métodos son los más extendidos en la comunidad de antropólogos forenses para la estimación de la mayoría de edad legal en sujetos vivos, no obstante, ambos presentan carencias debidas, sobre todo, a que los errores intra e interobservador no se encuentra bien explorados (Cox, 1996) y a que fueron desarrollados en unas poblaciones que, normalmente, difieren mucho de las poblaciones de los menores indocumentados que se someten a este tipo de estudios.

El tercer tipo de examen incluido en las recomendaciones de la AGFAD está basado en la observación de la maduración y erupción de las piezas dentales. Para la estimación de la mayoría de edad legal (18 años), sería muy útil el estudio de la erupción de los terceros molares, que emergen en torno a esa edad, sin embargo, hay algunos autores que lo consideran bastante impreciso ya que se ha observado mucha variabilidad en la fase de erupción. Por esta razón, se otorga mayor fiabilidad al estudio de la maduración de los terceros molares que se considera un proceso más homogéneo, aunque también muy variable (Nambiar *et alii.*, 1996). Los patrones de desarrollo del tercer molar en función de la edad real de los individuos han sido estudiados por varios autores (Demirjian *et alii.*, 1973), (Mincer *et alii.*, 1993), (Kulman, 1995), (Willems *et alii.*, 2001), (Solari y Abramovitch, 2002), (Prieto *et alii.*, 2005). Casi todos los autores han determinado que los métodos son útiles aunque presentan la limitación de no poder asegurar con precisión suficiente la mayoría de edad legal.

Por último, para casos en los que se hace necesaria la estimación de los 21 años de edad se encuentra indicado, en las recomendaciones de AGFAD, el estudio del cierre del cartílago metafisario de la extremidad esternal de la clavícula. Para su estudio es necesario realizar radiografías anteroposteriores y laterales de tórax, y en caso de no poder discernir la región con claridad se recomienda el uso de tomografía computerizada mediante método de multicorte fino (Kreitner *et alii.*, 1998), (Kellinghaus *et alii.*, 2010). La mayoría de estudios que se han realizado para la fusión de la epífisis esternal de la clavícula concluyen que la edad mínima de fusión completa es de 20 años para mujeres y 21 para hombres (Schmeling, 2004). Además se recomienda que ante discrepancia entre lados se utilice el que menor grado de desarrollo presente con el fin de no sobrestimar la edad. Con este método se podría determinar si una persona tiene más de 20 años en caso de mujeres y 21 en caso de varones, y es de utilidad cuando se requiere conocer si un individuo se encuentra en una edad entre los 18 y los 21 años, o bien, si la mayoría de edad en un determinado país fueran 21 y no 18 años.

Gracias a las recomendaciones que sugirió el AGFAD, se ha creado un protocolo de actuación más o menos uniforme, en casi todos los países de la Unión Europea, para abordar casos de menores indocumentados que favorezca los derechos y la igualdad entre todas las personas, así como asegure la correcta aplicación científica de los métodos anteriormente descritos.

En España, la mayoría de edad legal se establece a los 18 años según el Artículo 12 de la Constitución Española de 1978 (BOE num331, 1978). Con el fin de proteger la infancia, los menores tienen derecho a un tratamiento jurídico diferente de los mayores de edad, de esta manera en caso de estar involucrados en un procedimiento penal, los menores de 18 años estarían exentos de la aplicación de las normas del Código Penal según el Artículo 19 (BOE núm. 281, 1995), y para ellos se reserva la aplicación de un reglamento diferente recogido en la Ley Orgánica de Responsabilidad Penal del Menor, que según su Artículo 3 exime totalmente de responsabilidad penal a los menores de 14 años y es de aplicación para los menores de entre 14 y 18 años según su Artículo 1 (BOE núm. 11, 2000). Por otro lado, el Artículo 69 de la Ley anterior también establece un apartado especial, de aplicación exclusiva cuando las circunstancias personales y el grado de madurez del imputado lo aconsejen, para los individuos de entre 18 y 21 años.

La aplicación de una normativa u otra hace imprescindible el conocimiento de la edad de la persona involucrada en el proceso judicial, y por esta razón es tan importante la creación de protocolos estándar que estén basados en métodos científicos probados para no cometer el error de sobre- o subestimar la edad.

En el año 2010, en España, surge una iniciativa para la creación de unas recomendaciones sobre la estimación forense de la edad de los menores extranjeros no acompañados cuyo objetivo fue la normalización de las condiciones mínimas exigibles a los informes periciales, así como la interpretación de los márgenes de error que se derivan de la distribución normal y variabilidad del desarrollo madurativo individual. Esta iniciativa, basándose en las recomendaciones previas de AGFAD, propone que la estimación de la edad de presunto menor incluya: entrevista, exploración física, examen radiológico del carpo y ortopantomografía dental, y en casos dudosos, incluyen la radiografía o tomografía computerizada de la epífisis proximal de la clavícula (Garamendi *et alii.*, 2011).

4. 2. 3 LA ESTIMACIÓN DE LA EDAD EN SUJETOS ADULTOS

MÉTODOS MORFOLÓGICOS

A diferencia de la estimación de la edad en sujetos subadultos, cuando se aborda el estudio de restos esqueléticos pertenecientes a individuos adultos los métodos que se utilizan para estimar la edad están, sobre todo, basados en patrones degenerativos. Hasta que se alcanza la madurez ósea los cambios morfológicos que se observan en los huesos y dientes son suficientemente grandes como para poder estimar la edad con fiabilidad, pero desde el final del crecimiento la precisión disminuye y se hace necesario acudir a los métodos que se basan en cambios degenerativos. Esto genera un problema ya que no siempre hay una correspondencia entre la edad ósea y la edad cronológica de un individuo. A menudo la edad biológica se encuentra influenciada por factores externos como la alimentación, el clima o la actividad física que dificultan mucho la concordancia con la edad real de los individuos.

Durante muchos años se han desarrollado métodos para poder abordar el estudio de la edad en adultos con mayor precisión. Estos métodos se encuentran divididos en tres

grupos según las técnicas que se empleen, de esta manera se pueden encontrar métodos basados en cambios morfológicos, histológicos o bioquímicos.

Los métodos morfológicos son los más empleados a la hora de abordar un caso de Antropología Forense ya que son fáciles de usar y no conllevan ningún coste económico adicional. Su aplicación se basa en la observación de patrones de madurez ósea en determinadas regiones anatómicas para después relacionarlos con la secuencia cronológica en la que ocurren los cambios degenerativos en el esqueleto (Benito, 2011). Estos métodos son rápidos y fáciles de aplicar ya que están basados en la observación macroscópica directa, sin embargo la precisión y eficacia de los métodos depende mucho de la experiencia previa del investigador que vaya a abordar el caso.

Se han desarrollado técnicas para la estimación de la edad en casi todos los huesos del cuerpo, habiéndose hecho hincapié en algunas las regiones anatómicas que por su localización y morfología son más fácilmente accesibles. Además, en estas regiones los procesos de metamorfosis que sufren a lo largo del tiempo son claramente apreciables, hasta para ojos inexpertos, por lo que proporcionan información muy útil para la estimación de la edad.

Una de las regiones mejor estudiadas es la superficie de la sínfisis del pubis. Este método está basado en algunos detalles morfológicos que varían según la edad de cada individuo: las crestas y surcos, el borde dorsal, el declive ventral, la formación de la extremidad inferior y superior, el biselado ventral, o el aro sinfisal, son algunas de ellas. Durante muchos años, esta región ha sido objeto de estudio por muchos autores y en muy diversas poblaciones (Todd, 1920) (Figura 4), (Todd, 1921), (Brooks, 1955), (McKern y Stewart, 1957), (Gilbert y McKern, 1973), (Snow, 1983), (Meindl *et alii.*, 1985), (Krogman e Iscan 1986), (Brooks y Suchey, 1990) (Figura 5). Desde los primeros estudios que se realizaron, se advirtió que este método no era perfecto y que había imprecisiones en el sistema de evaluación de la edad. Se observó que la precisión del método era mejor en grupos etarios de entre 20 y 40 años, y que a partir de esa edad la fiabilidad disminuía. Todos los autores recomiendan no utilizarlo como único criterio para la estimación de la edad ya que puede generar errores, por eso al aplicarse debe ir unido a otros métodos para que el margen de error disminuya.

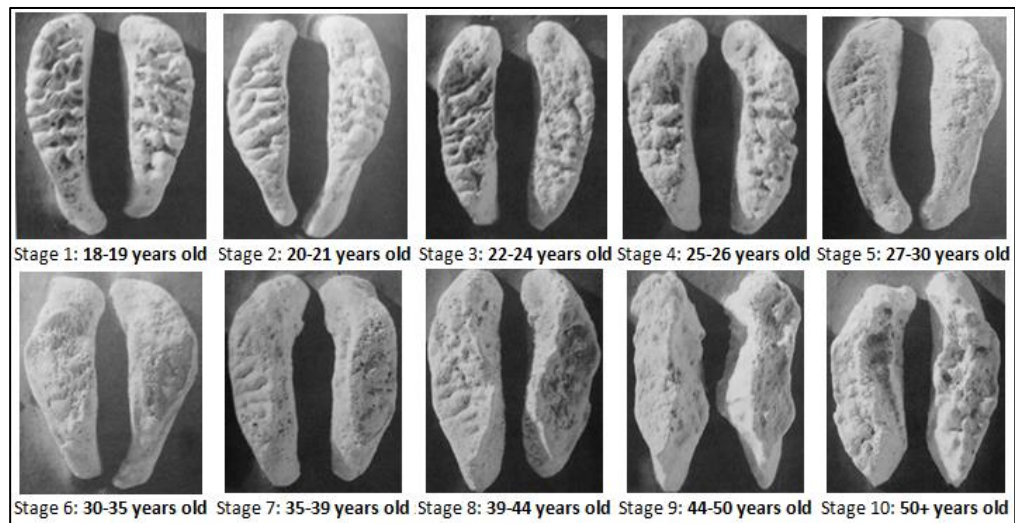


Figura 4. Esquema del estudio de las variaciones morfológicas de la sínfisis púbica con respecto a la edad (Todd, 1920).

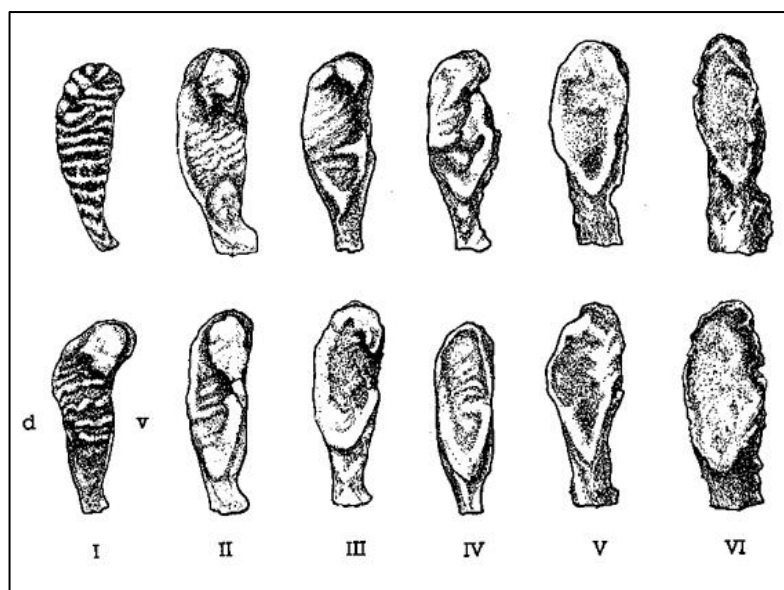


Figura 5. Esquema del estudio de las variaciones morfológicas de la sínfisis púbica con respecto a la edad (Suchey y Brooks, 1990).

En la misma región anatómica, incluido en el hueso coxal, también se han desarrollado investigaciones basadas en predecir los cambios que ocurren en la carilla auricular del ilion. Los primeros estudios que se realizaron a este nivel, entre las décadas de los 80 y 90, concluyeron que existía una fuerte correlación entre la metamorfosis de esta región

anatómica y la edad (Lovejoy *et alii.*, 1985), (Buikstra y Ubelaker, 1994), (Ubelaker, 1999). El experimento se basó en las variaciones de los siguientes criterios: superficie auricular, semicaras, ápice, área retroauricular, porosidad, granulosidad, ondulado y densidad, y concluyó en el establecimiento de 8 intervalos de edad (Lovejoy *et alii.*, 1985), (Byers, 2001).

Otra región anatómica que ha sido muy frecuentemente estudiada para la estimación de la edad ha sido la cuarta costilla y la variación que se produce en la extremidad esternal. Su posición anatómica, el carácter de su estructura y la función que desempeña en el tórax han convertido a las costillas en un excelente indicador de edad (Iskan y Loth, 1986). Para su estudio se han utilizado varios indicadores del proceso de metamorfosis que sufre con el paso del tiempo, como son: la textura del borde de la superficie articular, la forma de “U” o “V” de la fosita articular, las proyecciones superiores e inferiores de la extremidad esternal, la profundidad y porosidad de la cavidad articular, o la textura frágil, ligera y deteriorada que va adquiriendo el cartílago costal como consecuencia de la deposición de hueso en el mismo. Al igual que en el caso de la sínfisis del pubis, hay muchos autores que han realizado estudios sobre las variaciones que ocurren a este nivel (Iskan *et alii.*, 1984a, 1984b), (Loth e Iskan, 1986), (Iskan, 1991) (Figura 6), (Yavuz *et alii.*, 1998), (Oettlé y Steyn, 2000), (Yoder *et alii.*, 2001), (Vasquez, 2011), (Robledo, 2014) y la mayoría concluyen que es un método que ayuda a la estimación de la edad con bastante precisión. En algunas ocasiones no es posible conseguir íntegra la cuarta costilla izquierda, que es la que se ha utilizado para el diseño del método. En estos casos, se recomienda recurrir al otro lado y posición de las costillas, ya que, según los autores mencionados anteriormente (Yoder *et alii.*, 2001), (Robledo, 2014), no existen diferencias de lado ni de posición entre la cuarta costilla y la segunda, tercera, quinta, sexta o séptima.

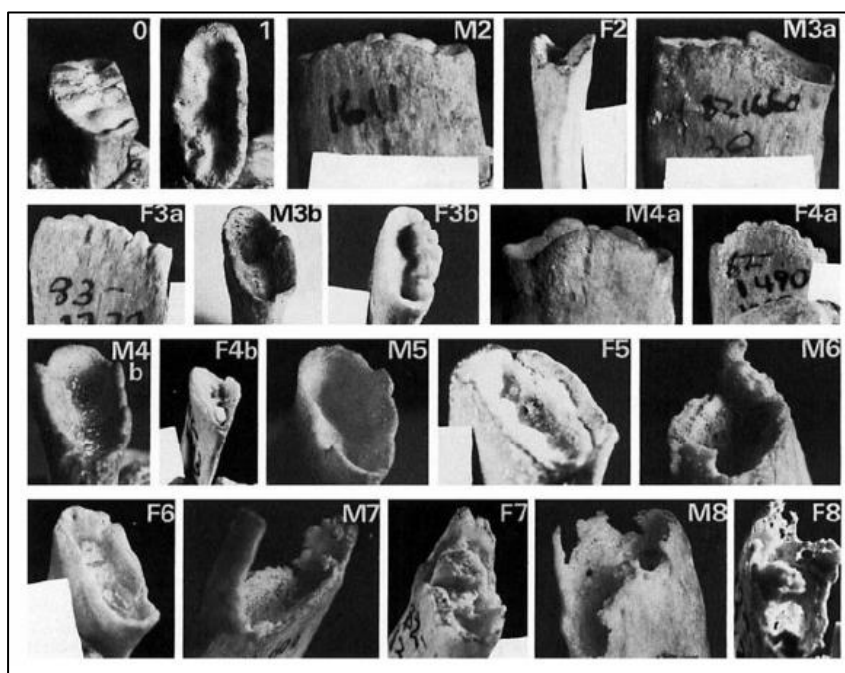


Figura 6. Esquema de los cambios morfológicos que sufre la cuarta costilla con el aumento de la edad (Iskan, 1991).

Otro de los estudios clave que se ha utilizado para la estimación de la edad en adultos ha sido el patrón de obliteración de las suturas craneales. Este método está basado en la sinostosis que sufren las suturas del cráneo con la edad de los individuos. Los primeros estudios que relacionaban el cierre de las suturas craneales con la edad arrojaron buenos resultados, aportando un patrón de cierre que servía de utilidad para abordar casos de interés forense. Casi todos los autores dividieron las suturas en varias regiones y observaron el patrón de sinostosis, concluyendo casi los mismos resultados; la primera sutura que comienza a cerrarse es la sutura sagital, desde obelion hasta bregma y lambda (25-35 años), en segundo lugar las suturas coronal y lambdoidea comienzan a fusionarse siguiendo un patrón de cierre inverso, la coronal empieza a obliterarse desde el punto esfenofrontal hasta bregma, en ambos lados, y la lambdoidea desde lambda hasta asterion (35-50 años). Los resultados finales de todos los autores concluyen que a partir de los 50-55 años todas las suturas superiores se encuentran obliteradas completamente (Todd y Lyon, 1924), (Todd y Lyon, 1925), (McKern y Stewart, 1957), (Ascádi y Nemeskéri, 1970), (Meindl y Lovejoy, 1985), (Masset, 1989). Por otro lado, algunos autores, han desestimado el uso de este método como buen indicador para la

estimación de la edad por considerar que se cometen muchos errores al aplicarlo (Singer, 1953), (Brooks, 1955).

Además de los métodos citados anteriormente, que son los más utilizados, existen otros que, aunque menos estudiados que los anteriores, también relacionan cambios morfológicos con la edad de los individuos. Es el caso de algunos estudios que se han realizado para descubrir un patrón degenerativo en los cuerpos vertebrales basado en las modificaciones causadas por los cambios artrósicos en los bordes de las vértebras, que son apreciables a partir de los 30 años (Stewart, 1958), (Albert y Maples, 1995).

Para el caso de osificación de cartílagos como proceso degenerativo también ha sido objeto de estudio la observación del grado de osificación del cartílago tiroides. Los estudios establecen 10 fases de fusión basadas en la calcificación de los siguientes 10 elementos observados en el cartílago tiroides: triángulo posteroinferior, rama inferior, rama superior, proceso paramediano, proceso medio, barra lateral, barra paramediana, barra media, ventana posterior y ventana anterior (Vlcek, 1980), (Loth e Iscan, 1989) (Figura 7), (Leopold y Schaefer, 1998), (O'Halloran y Lundy, 1987),

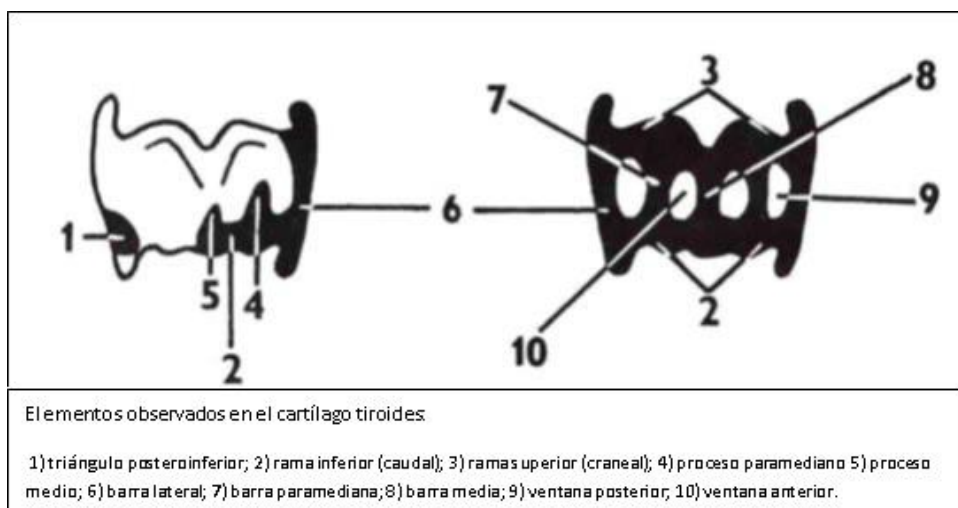


Figura 7. Esquema de las fases de fusión del cartílago tiroides (Loth e Iscan, 1989)

Por último, también se ha utilizado el estudio de la reabsorción del hueso esponjoso en algunas epífisis de huesos largos, como el húmero, fémur o clavícula (Hansen, 1954), (Scharnz, 1959), (Walker y Lovejoy, 1985), (Acsádi y Nemeskéri, 1970) (Figura 8).

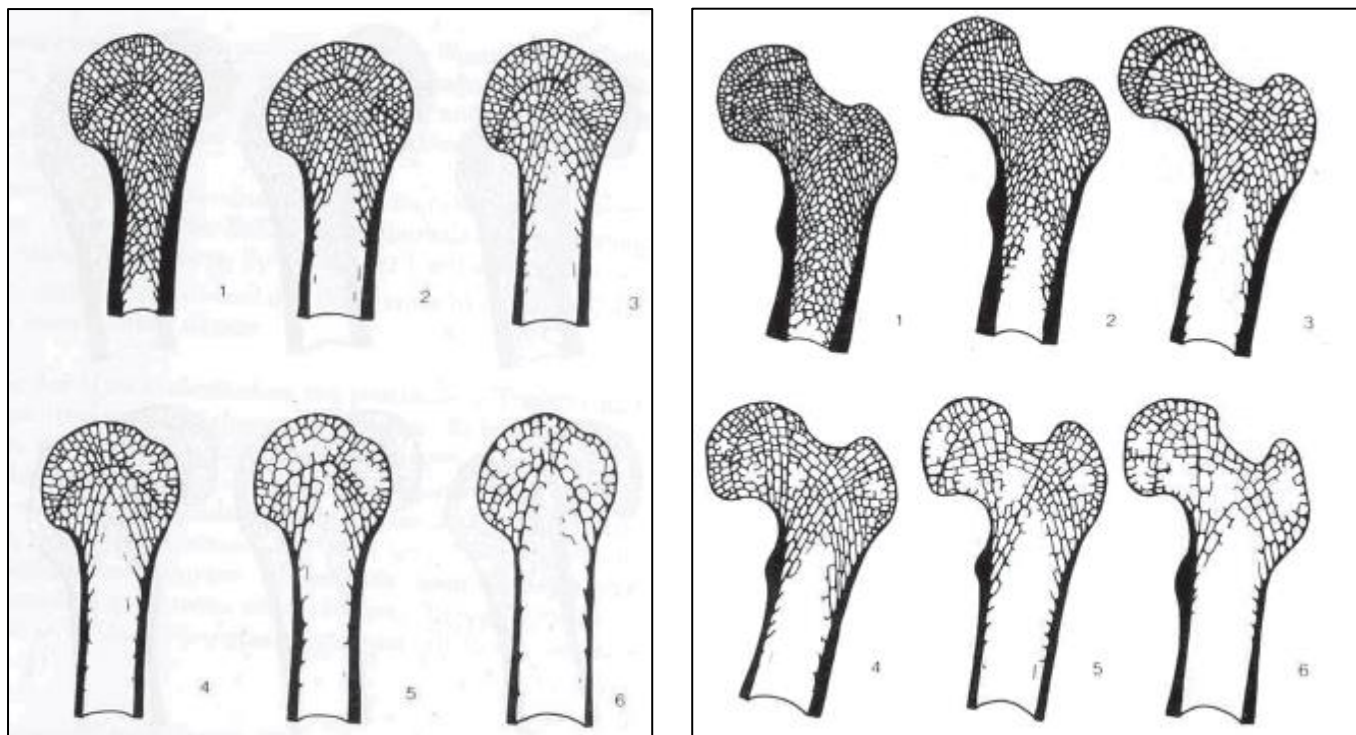


Figura 8. Etapas de involución del sistema trabecular del húmero y fémur por Acsádi y Neméskeri (Herrmann *et alii.*, 1990).

Aparte de los estudios realizados en colecciones de material óseo, se han realizado investigaciones sobre piezas dentales que establecen métodos para estimar la edad en función varios parámetros basados en el desgaste dental, la altura gingival, la desmineralización de la raíz, la aposición de dentina secundaria o incluso la pérdida de piezas dentales.

El desgaste dental es un proceso normal que ocurre en las piezas dentales debido al uso, que se caracteriza por una reducción paulatina de la superficie oclusal y que puede afectar desde el esmalte hasta la cavidad pulpar en casos muy severos. El desgaste puede deberse, sobre todo a dos circunstancias, como contacto directo entre dos o más piezas dentales, llamado atrición, o debido al contacto de los dientes con materiales extraños que pueden fomentar el proceso de desgaste, en este caso se denomina abrasión. Este tipo de desgaste está relacionado con el uso de la dentición con el paso del tiempo, por eso hay algunos estudios que lo correlacionan con la edad de los individuos. No obstante, es importante tener en cuenta que existen otros factores que influyen en el desgaste como factores genéticos, hábitos alimenticios y costumbres culturales, por lo que hay que tener muy en cuenta la población de origen del sujeto que se quiere identificar para no cometer errores. Para relacionar este patrón de desgaste con

la edad se han realizado varios estudios, de tal manera que se ha correlacionado el desgaste con técnicas de medición (Guerasimov, 1955), (Alexeev y Debetz, 1964), (Zoubov, 1968), (Scott, 1979a, 1979b), (Lovejoy, 1985) (Figura 9), con patrones de cambio (Murphy, 1959), (Brothwell, 1989), con la función y variabilidad cultural (Molnar, 1971), con la enumeración de anillos del cemento (Naylor *et alii.*, 1985), y con el gradiente del grosor del esmalte (Macho y Berner, 1994).

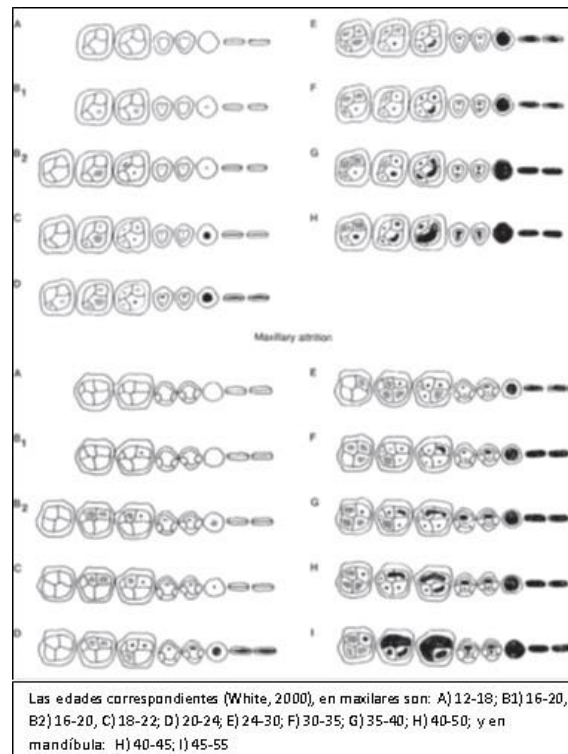


Figura 9. Esquema de las etapas de desgaste dental (Lovejoy, 1985)

Además del desgaste, hay otros métodos que, basándose en la periodontosis y la desmineralización de la raíz de las piezas dentales, han establecido unas fórmulas matemáticas para estimar la edad en sujetos adultos. La periodontosis se mide como la distancia entre la unión cemento-esmalte y la línea de inserción de la encía, por su parte, la transparencia radicular ocurre como consecuencia de un depósito de cristales de hidroxiapatita dentro de los túbulos dentinales, y se mide, con ayuda del negatoscopio, desde la altura de la raíz a la que se observa transparencia hasta el ápice de ésta (Lamendin *et alii.*, 1992) (Figura 10), (Prince y Ubelaker, 1999).

$$P = \text{Altura del periodonto} / \text{Altura de la raíz} * 100$$

$$T = \text{Altura de la translucidez} / \text{Altura de la raíz} * 100$$

$$\text{EDAD DENTAL} = (0.18 P) + (0.42 T) + 25.23$$

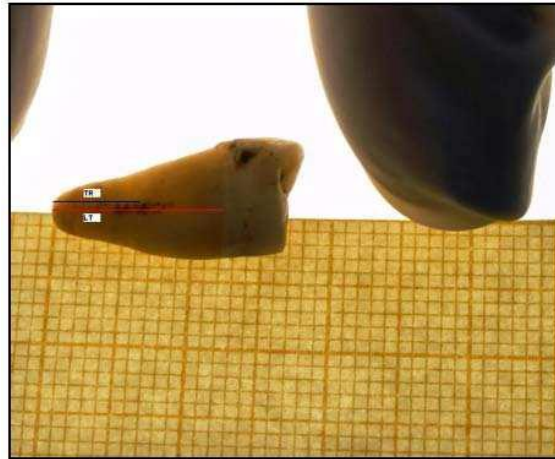


Figura 7. Método de medida de la Transparencia Radicular

Por último, hay otros estudio que también se han correlacionado con la edad como: la aposición de dentina secundaria ya que con el paso del tiempo varios autores han visto depósitos de grandes cantidades de dentina secundaria en la cavidad pulpar (Gustafson, 1950), (Ikeda *et alii.*, 1985), (Drusini, 1997), o la sedimentación de cemento que se ha comprobado que se produce por temporadas (Charles *et alii.*, 1989).

Los métodos morfológicos para la estimación de la edad en adultos son los que mejor actúan ya que, aunque algunos no puedan ser utilizados con suficiente precisión, al menos no necesitan un coste económico adicional, ni requieren la destrucción de la muestra. Sin embargo, también se han desarrollado investigaciones utilizando métodos histológicos y bioquímicos. Estos últimos exigen más inversión de tiempo y dinero, a la vez que la destrucción parcial o total de la muestra de estudio, y aunque en un primer momento las expectativas sobre su precisión a la hora de estimar la edad en sujetos adultos fueron muy altas, a día de hoy, se sabe que no aportan información más fiable que los métodos basados en los cambios morfológicos.

MÉTODOS HISTOLÓGICOS Y BIOQUÍMICOS

Métodos histológicos

Los métodos histológicos fueron muy esperanzadores durante la década de los 60 ya que se descubrieron hallazgos que correlacionaban la degradación de la arquitectura ósea con la edad, y se comprobó que dicha degradación seguía un patrón más o menos constante (Kerley, 1965).

Las principales técnicas histológicas que se utilizaron para la estimación de la edad estaban basadas en la remodelación progresiva de la cortical de los huesos largos. En concreto, las modificaciones afectan a la formación de osteonas primarias, sustituyéndolas por osteonas secundarias (Kerley, 1965). Para el desarrollo del estudio se estudiaron cuatro parámetros en un campo óptico de 1,25mm de diámetro: el número total de osteonas, el número de osteonas fragmentadas, el hueso lamelar circunferencial y los canales no Haversianos.

Posteriormente, este estudio fue repetido con los mismos parámetros de estudio pero ampliando el campo óptico a 1,62 mm (Kerley y Ubelaker, 1978), remodelado hasta utilizar sólo el parámetro que medía el número de osteonas primarias (Ahlqvist y Damsten, 1969), y aplicado a diferentes grupos poblacionales ofreciendo diferencias entre cada uno de ellos (Thompson y Gunness-Hey, 1981), (Cho y Kang, 2002).

Desde el primer estudio de Kerley se han desarrollado investigaciones que aplican el mismo método en diferentes regiones anatómicas, siendo las que ofrecen mejores resultados la extremidad esternal de las costillas y la diáfisis de la clavícula, posiblemente porque la remodelación en estas regiones sigue un patrón más estable con el tiempo al no estar sometidas a grandes cargas biomecánicas (Stout y Paine, 1992), (Dudar *et alii.*, 1993).

Métodos Bioquímicos

Las investigaciones que implican la composición bioquímicas de huesos y dientes han estado desarrollándose en los últimos años. Los estudios más importantes que se han

diseñado a este nivel son los que están basados en relacionar la racemización del ácido aspártico con la edad (Heffman y Bada, 1976), (Masters *et alii.*, 1977), (Mannet *alii.*, 1983), (Rizt-Timme *et alii.*, 1993), (Rizt-Timme *et alii.*, 1994), (Ohtani *et alii.*, 1997); (Sajdok *et alii.*, 2006). La racemización de este aminoácido en los seres vivos sigue una tasa de metabolización lenta pero continua. En las proteínas de los tejidos vivos se encuentra el isómero L que con el paso del tiempo va transformándose en su versión D, por lo que es posible calcular la proporción de ácido aspártico D/L, y por tanto esta tasa de transformación puede relacionarse fácilmente con la edad de los individuos.

Además de la racemización del ácido aspártico, se han desarrollado investigaciones basadas en la cuantificación de isótopos del N¹⁵ en muestras óseas y dentales para crear patrones de madurez ósea (Richards *et alii.*, 2002) y de C¹⁴ en muestras dentales (Spalding *et alii.*, 2005), (Ubelaker *et alii.*, 2006).

Por último, se ha estado trabajando con modificaciones en la secuencia de ADN mitocondrial para establecer una relación entre la delección del par 4977 bp con la edad de los sujetos (Meißner *et alii.*, 1997). Estos autores descubrieron que la aparición del par 4977 bp se encontraba relacionada con el fenómeno de maduración, y que la ausencia de dicha delección indicaría que se el sujeto de estudio tendría menos de 20 años, así como la delección sugeriría que el sujeto tendría más de 50 años.

Como se ha comentado anteriormente, los métodos bioquímicos son muy esperanzadores ya que podrían utilizarse como complemento para el estudio de la edad en casos que no puedan ser abordados por estudios macroscópicos. No obstante, aún queda mucho trabajo por hacer ya que la mayoría de las técnicas no han sido suficientemente testadas y por tanto, por el momento, no aportan resultados fiables.

4. 2. 4 LA PROBLEMÁTICA EN LA ESTIMACIÓN DE LA EDAD DE LA MUERTE EN INDIVIDUOS ADULTOS

Al contrario que ocurre con la estimación de la edad en sujetos subadultos, cuando se aborda un caso que implica el conocimiento de la edad de un sujeto adulto como parte del perfil biológico las posibilidades de acierto se reducen mucho, ya que la mayoría de los métodos no generan resultados suficientemente precisos.

El problema reside en que la edad biológica de una persona se encuentra muy influenciada por factores externos, como las condiciones socioeconómicas a las que se encuentren sometidos los individuos, que afectan inevitablemente en el estado de salud y enfermedad, así como en la alimentación, o por factores genéticos que pueden afectar al desarrollo madurativo. Como consecuencia de esto, las probabilidades de acierto entre la edad fisiológica y la cronológica son bajas en muchos casos.

La edad, sin embargo, es uno de los parámetros más importantes a la hora identificar a un sujeto. Las recomendaciones, de la mayoría de los autores, coinciden en utilizar todas las técnicas posibles para poder reducir el margen de error y establecer intervalos de edad que sean lo más estrechos posibles, siempre que se pueda. Cuando se plantea un caso en el que aparece un cadáver en buen estado de preservación y se pueden utilizar la mayoría de los indicadores de edad, el problema de la estimación se reduce mucho. Sin embargo, en la práctica no siempre es así. Ocurre, muchas veces, que es necesario identificar restos esqueléticos que se encuentran mezclados, desmembrados, incompletos o en muy mal estado de preservación. En estos casos, donde no es posible aplicar la mayoría de las técnicas que se recomiendan, es cuando surge el verdadero problema.

De los métodos descritos anteriormente, los más utilizados y populares, dentro de los estudios de Antropología Forense, son los cambios morfológicos que ocurren en la sínfisis del pubis, las variaciones que sufren la extremidad esternal de la cuarta costilla o la obliteración de las suturas craneales. De ellos, el que aporta resultados más fiables es el proceso de metamorfosis y osificación de la cuarta costilla, pero esa región anatómica es la más susceptible de sufrir daños, por lo que muchas veces no está disponible para la estimación de la edad.

Además de los problemas anteriormente citados, hay que añadir que normalmente para abordar este tipo de estudios no se dispone de investigaciones propias para cada una de las poblaciones. Generalmente, se aplican las técnicas que se han desarrollado en colecciones de referencia de poblaciones lo más cercanas posible al origen poblacional del sujeto de estudio. Esto dificulta aún más la estimación de la edad, ya que muchas veces las características de las poblaciones de los estudios de referencia difieren mucho de las del caso a estudiar.

Por estas razones y por la importancia de la estimación de la edad en cadáveres no identificados, se hace necesario seguir investigando en esta línea con el fin de, en primer lugar, precisar más dentro de los métodos ya existentes, y en segundo lugar, diseñar investigaciones nuevas de poblaciones específicas que puedan ayudar a solventar estos problemas.

5. ANATOMÍA, BIOMECÁNICA Y MADURACIÓN DEL ESQUELETO HUMANO.

El sistema esquelético consiste en un armazón sólido que incluye 206 huesos que están compuestos por: una parte mineral formada por cristales de hidroxapatita (calcio y fósforo) que les otorga dureza y rigidez (60%), una parte orgánica formada en su mayor medida por fibras de colágeno que le confieren la flexibilidad y elasticidad (30%), y agua (10%) (Guyton, 2011).

Gracias al sistema esquelético, que sirve de soporte para los tejidos blandos del cuerpo, se puede mantener la posición erguida, y se permite el movimiento corporal debido a que los huesos sirven de inserción para el sistema muscular. Además, el sistema esquelético tiene una función protectora de órganos vitales, así como una función hematopoyética ya que, en el interior de la médula ósea de los huesos largos se fabrican las células sanguíneas. Por último, proporciona un área de almacenamiento de nutrientes para satisfacer las necesidades del cuerpo en cada momento.

Dependiendo de su morfología, se ha establecido una clasificación de los diferentes huesos del sistema esquelético: los huesos largos, en los que la longitud prevalece frente a otros diámetros y que están implicados en la locomoción y soporte de las cargas axiales; los huesos cortos, de estructura cuboidal, implicados en la absorción y transmisión de fuerzas así como en los movimientos de baja amplitud; los huesos planos, cuya función es protectora y de refuerzo; y los huesos sesamoideos, que se desarrollan en el transcurso de los tendones y los protegen del desgaste excesivo (Rouvier y Delmas, 1999).

Los huesos largos están formados por tres partes que se diferencian tanto por su estructura y composición como por su localización: las epífisis, que se localizan en los extremos, la diáfisis que se compone de la parte central, longitudinal y mayoritaria del hueso y las metáfisis que se componen de cartílago y permiten el crecimiento de los mismos.

Dentro de los huesos se pueden diferenciar dos tipos de estructuras: el hueso cortical o compacto, que es un tejido altamente organizado que se encuentra en las capas periféricas de los huesos largos, con mayor proporción en las diáfisis, y que soporta gran cantidad de carga biomecánica y permite la resistencia y rigidez del sistema esquelético; y el hueso esponjoso que se organiza en trabéculas y está compuesto por hueso laminar no haversiano, es más débil y menos denso que el anterior y se ubica en mayor proporción en las epífisis, lo que permite la adaptación al estrés biomecánico.

Los dos tipos de tejidos que componen el hueso están perfectamente diseñados para soportar las cargas biomecánicas a las que se encuentra sometido el cuerpo humano debido a la actividad física. De esta manera, mientras el hueso compacto proporcionan rigidez y resistencia, el hueso esponjoso tiene un diseño laminar que es capaz de distribuir las cargas en superficies amplias, transmitir las y absorberlas para evitar lesiones y permitir el movimiento (Hainaut, 1989).

Durante el desarrollo embrionario el proceso de formación del tejido óseo se produce a través de una diferenciación del tejido mesenquimatoso. Este proceso puede producirse de dos maneras: a través de la transformación del tejido cartilaginoso en tejido óseo, a la que se denomina osteogénesis endocondral; o de la diferenciación de tejido óseo desde una matriz mesenquimatosa, también llamada osteogénesis intramembranosa (Smith-Agreda *et alii.*, 1986). Este último es más precoz que el primero por lo que está asociado con regiones anatómicas que requieren una osificación más rápida, como el cráneo o las costillas. Dependiendo del tipo de hueso se formarán núcleos de osificación siguiendo un proceso u otro.

Desde el nacimiento, el sistema esquelético se encuentra sometido a diferentes factores externos que intervienen en el desarrollo y crecimiento, como el estado nutricional, el tipo de actividad física, los hábitos posturales o la carga genética.

El proceso de osificación en el ser humano sigue una secuencia de acontecimientos que son reconocibles a lo largo de todas las etapas del crecimiento. El sistema esquelético comienza a desarrollarse a través de la formación y crecimiento de núcleos de osificación que pueden ser de dos tipos: centros de osificación primarios o diafisarios, que normalmente aparecen en el periodo embrionario, y los centros de osificación secundarios o epifisarios que suelen desarrollarse tras el nacimiento.

A partir de las semanas 18 a 20 de gestación comienzan a aparecer los primeros núcleos de osificación en la columna vertebral; entre las semanas 20 a 25 se pueden apreciar núcleos de osificación tanto en la base del cráneo como en la mayoría de los huesos largos; desde las semanas 24 a 26 aparecen los núcleos de osificación, primero en el calcáneo y posteriormente en el astrágalo; y por último, entre las semanas 36 a 40 se forman los núcleos que darán lugar a las epífisis distales del fémur y proximales de la tibia (Scheuer y Black, 2000).

Desde el momento del nacimiento los huesos siguen un proceso de maduración ósea homogéneo. Desde el nacimiento hasta los 5 años aparecen todos los centros de osificación que no se habían desarrollado en el periodo de gestación (Tablas 1, 2 y 3). Desde los 5 a los 12 años los centros de osificación que se habían formado en el periodo anterior van creciendo y adquiriendo la morfología de los huesos adultos, mientras van apareciendo otros centros de osificación nuevos. A partir de este momento se empiezan a fusionar las epífisis de los primeros huesos, proceso que continúa desde los 12 a los 25 años cuando culmina la fusión de todos los huesos del cuerpo (Figura 3).

Tabla 1. Edad de aparición de los centros de osificación en población caucasoide. Varones.

(Krogman e Iscan, 1986).

CENTRO OSIFICACIÓN	EDAD	CENTRO OSIFICACIÓN	EDAD
Calcáneo	Nacimiento	2ª falange del 2º dedo de la mano	13 meses
Proximal del Fémur	Nacimiento	5º metacarpiano	13 meses
Proximal de la Tibia	Nacimiento	1º metacarpiano	14 meses
Cuboides	Nacimiento	1ª falange del 1º dedo del pie	14 meses
Cabeza de Húmero	Nacimiento	Cuneiforme central	14 meses
Hueso Grande	2 meses	Escafoides del pie	14 meses
Hueso Ganchoso	2 meses	1ª falange del 5º dedo del pie	14 meses
Cuneiforme lateral	2 meses	3ª falange del 3º dedo de la mano	14 meses
Cabeza del Fémur	3 meses	3ª falange del 4º dedo de la mano	14 meses
Cóndilo del Húmero	3 meses	1º metatarsiano	14 meses
Distal de la Tibia	3 meses	1ª falange del 1º dedo de la mano	15 meses
Troquín	4 meses	2ª falange del 5º dedo de la mano	15 años
Distal del Peroné	6 meses	3ª falange del 2º dedo de la mano	17 meses
Distal del Radio	6 meses	3ª falange del 5º dedo de la mano	17 meses
2ª falange del 1º dedo del pie	7 meses	2º metatarsiano	19 meses
1ª falange del 3º dedo de la mano	7 meses	3ª falange del 5º dedo del pie	21 meses
1ª falange del 4º dedo de la mano	7 meses	3º metatarsiano	22 meses
1ª falange del 2º dedo de la mano	8 meses	Rótula	23 meses
2ª falange del 1º dedo de la mano	8 meses	Trocánter Mayor del Fémur	2 años
2ª falange del 2º dedo del pie	8 meses	Hueso Semilunar	2 años
1ª falange del 3º dedo del pie	8 meses	3ª falange del 3º dedo del pie	2 años
2ª falange del 3º dedo del pie	9 meses	3ª falange del 4º dedo del pie	2 años
1ª falange del 4º dedo del pie	9 meses	Proximal del Peroné	2 años
Cuneiforme medial	9 meses	3ª falange del 2º dedo del pie	2 años y 2 meses
2º metacarpiano	10 meses	4º metacarpiano	2 años y 2 meses
2ª falange del 2º dedo del pie	10 meses	5º metacarpiano	2 años y 5 meses
2ª falange del 4º dedo del pie	10 meses	Trapecio	2 años y 8 meses
3ª metacarpiano	10 meses	Epicóndilo medial del Húmero	2 años y 9 meses
1ª falange del 5º dedo de la mano	10 meses	Proximal del Radio	3 años
1ª falange del 5º dedo de la mano	11 meses	Trapezoide	3 años
4º metacarpiano	11 meses	Escafoides de la mano	3 años y 2 meses
2ª falange del 4º dedo de la mano	12 meses	Distal del Cúbito	4 años y 6 meses
2ª falange del 3º dedo de la mano	12 meses	2ª falange del 5º dedo del pie	5 años+

Tabla 2. Edad de aparición de los centros de osificación en población caucasoide. Mujeres.

(Krogman e Iscan, 1986).

CENTRO OSIFICACIÓN	EDAD	CENTRO OSIFICACIÓN	EDAD
Calcáneo	Nacimiento	2ª falange del 3º dedo de la mano	18 meses
Astrágalo	Nacimiento	2ª falange del 4º dedo de la mano	18 meses
Proximal del Fémur	Nacimiento	5º metacarpiano	18 meses
Proximal de la Tibia	Nacimiento	1ª falange del 1º dedo del pie	20 meses
Cuboides	Nacimiento	Cuneiforme central	20 meses
Cabeza de Húmero	Nacimiento	Escafoides del pie	21 meses
Hueso Grande	2 meses	3ª falange del 5º dedo del pie	21 meses
Hueso Ganchoso	2 meses	3ª falange del 5º dedo del pie	21 meses
Cuneiforme lateral	2 meses	1º metacarpiano	22 meses
Cabeza del Fémur	3 meses	1º metatarsiano	22 meses
Cóndilo del Húmero	3 meses	1ª falange del 1º dedo de la mano	23 meses
Distal de la Tibia	3 meses	2ª falange del 5º dedo de la mano	2 años
Distal del Peroné	6 meses	Semilunar	2 años
Troquín	7 meses	2º metatarsiano	2 años y 2 meses
Distal del Radio	7 meses	3ª falange del 2º dedo de la mano	2 años y 5 meses
Hueso Piramidal	10 meses	3ª falange del 5º dedo de la mano	2 años y 5 meses
1ª falange del 3º dedo de la mano	11 meses	3º metatarsiano	2 años y 11 meses
2ª falange del 2º dedo del pie	11 meses	Proximal del Peroné	2 años y 11 meses
1ª falange del 2º dedo de la mano	12 meses	Trocánter Mayor del Fémur	3 años y 1 mes
1ª falange del 4º dedo de la mano	12 meses	Rótula	3 años y 1 mes
2ª falange del 1º dedo de la mano	12 meses	4º metacarpiano	3 años y 3 meses
1ª falange del 3º dedo del pie	13 meses	3ª falange del 5º dedo de pie	3 años y 4 meses
2º metacarpiano	13 meses	3ª falange del 3º dedo del pie	3 años y 7 meses
Cuneiforme medial	13 meses	3ª falange del 4º dedo del pie	3 años y 7 meses
1ª falange del 4º dedo del pie	14 meses	5º metacarpiano	3 años y 8 meses
1ª falange del 2º dedo del pie	14 meses	3ª falange del 2º dedo del pie	3 años y 8 meses
2ª falange del 3º dedo del pie	14 meses	Proximal del Radio	3 años y 10 meses
3ª metacarpiano	15 meses	Trapecio	4 años y 2 meses
2ª falange del 2º dedo del pie	15 meses	Escafoides de mano	4 años y 4 meses
1ª falange del 5º dedo de la mano	15 meses	Trapezoide	4 años y 8 meses
2ª falange del 4º dedo del pie	16 meses	Epicóndilo medial del Húmero	5 años+
4º metacarpiano	16 meses	Distal del Cúbito	5 años+
2ª falange del 2º dedo de la mano	18 meses	2ª falange del 5º dedo del pie	5 años+

Tabla 3. Edad de aparición de los centros de osificación en población caucasoide (>5años). Ambos sexos

(Krogman e Iscan, 1986).

EDAD DE APARICIÓN DE LOS CENTROS DE OSIFICACIÓN		
CENTRO DE OSIFICACIÓN	VARONES	MUJERES
Epicóndilo medial del Húmero	5.2	-
Distal del Cúbito	5.6	-
Tuberosidad del Calcáneo	6.2	-
Epífisis del Astrágalo	8.0	6.1
Tróclea del Húmero	8.0	6.1
Olécranon	8.8	6.8
Trocánter menor del Fémur	9.4	7.7
Pisiforme	9.10	7.1
Sesamoideo (flexor corto del dedo gordo del pie)	10.4	8.2
Epicóndilo lateral del Húmero	10.5	8.3
Tubérculo de la Tibia	10.10	9
Proximal del 5º metatarsiano	11.0	8.7
Sesamoideo (flexor corto del pulgar de la mano)	11.8	9.4
Tubérculo de la 1ª Costilla	13.3	10.0
Espina anterosuperior del ilion	13.4	9.3
Proceso transversal de la 1ª vértebra torácica	13.4	11.4
Acromion	13.5	11.4
Cresta iliaca	13.5	12.4
Apófisis coracoides	13.10	11.3
Tuberosidad isquiática	15.0	13.2
Medial de la clavícula	15.0+	14.6

Desde que culmina el proceso de crecimiento, los huesos empiezan a sufrir una serie de variaciones en su morfología que están directamente relacionadas con el aumento de la edad y que han sido estudiadas a través de patrones degenerativos. Desde los 20 a los 25 años comienzan a reconocerse los primeros cambios en la sínfisis del pubis y el extremo esternal de las costillas. Además también se empiezan a apreciar los primeros signos de cierre en las suturas craneales. A partir de los 25 y hasta los 40 años se van sucediendo una series de cambios en las regiones citadas anteriormente que han sido objeto de estudio durante años, llegándose a establecer unas fases de cambios morfológicos para cada región anatómica. En este periodo también comienzan a aparecer algunos signos degenerativos en zonas articulares. A partir de los 40 años, y sobre todo, desde los 50 años comienzan a ser muy visibles los cambios destructivos en casi todos los huesos del cuerpo, que se van incrementando progresivamente con el aumento de la edad, y que son más abundantes en las regiones epifisarias y articulares.

BIOMECÁNICA DEL COMPLEJO ARTICULAR DEL HOMBRO

El complejo articular del hombro es un sistema multiarticular que permite movimientos en los tres ejes con tres grados de libertad. Este complejo articular se encuentra formado por cuatro huesos: húmero, escápula, esternón y clavícula, que se encuentran articulados entre ellos para permitir la máxima amplitud de movimientos.

En total en el complejo articular del hombro intervienen ocho articulaciones que se dividen entre verdaderas y falsas dependiendo del tipo de articulación que formen:

- Articulación escápulo-humeral: es la más importante del complejo articular del hombro. Es una articulación de tipo enartrodia que permite el movimiento en los tres ejes.
- Articulación subdeltoidea: es una articulación falsa formada por una bolsa sinovial situada entre el manguito de los rotadores por debajo, y el acromion, apófisis coracoides y ligamento coracoacromial por arriba.
- Articulación escápulo-torácica: Es una articulación falsa, pero que permite gran amplitud de movimiento.

- Articulación acromio-clavicular: es una articulación verdadera, de tipo artrodia, que se produce entre la extremidad acromial de la clavícula y el acromion de la escápula.
- Articulación esterno-condro-clavicular: es una articulación verdadera, de tipo diartrodia, que se produce entre el manubrio del esternón, la extremidad esternal de la clavícula y el cartílago de la primera costilla.
- Articulaciones esterno-condrales: son articulaciones falsas que se producen entre el cuerpo del esternón y los cartílagos costales de las costillas verdaderas.
- Articulaciones costo-condrales: son articulaciones falsas que se producen con el fin de unir los cartílagos costales con las costillas y mantener cerrada la caja torácica.
- Articulaciones intercondrales: son articulaciones falsas que se producen entre cartílagos costales.

5.1 LA CLAVÍCULA: ANATOMÍA, DESARROLLO EMBRIOLÓGICO, CRECIMIENTO Y BIOMECÁNICA

ANATOMÍA

Etimológicamente, la palabra clavícula podría tener dos orígenes: que derivase de la palabra latina “*clavis*” que significa llave y se hubiera usado por su semejanza con las llaves romanas (Field y Harrison, 1957), o que derivase de la palabra latina “*claudere*” que significa cerrar y estuviera relacionada con la posición de cerradura que presenta la clavícula en el tórax (Skinner, 1961).

La clavícula (*Ossa Extremitatis Superioris*) es un hueso par, considerado como un hueso largo, curvado en forma de S itálica que se sitúa horizontalmente en la parte superior del tórax, justo por encima de la primera costilla, y que junto con la escápula, constituye la cintura escapular. La clavícula se articula, en la región medial, con el manubrio del esternón y la primera costilla a través de la extremidad esternal que forma una curva convexa y, lateralmente, con el acromion de la escápula por su porción acromial que presenta una estructura con forma cóncava (Williams *et alii.*, 1998).

La morfología que presenta la clavícula permite dividirla en tres regiones bien diferenciadas: la extremidad esternal o tercio medial, la diáfisis o tercio medio y la extremidad acromial o tercio lateral.

La extremidad esternal se encuentra situada hacia el eje medial del cuerpo y presenta una morfología más o menos cilíndrica, ensanchándose hacia la carilla de articulación con el manubrio del esternón. La carilla articular se encuentra orientada ligeramente hacia la parte inferior y ventral del cuerpo y junto con la escotadura clavicular del manubrio del esternón forman la articulación esterno-clavicular. A escasos milímetros de la carilla articular (dependiendo de cada clavícula) se encuentra, orientada a la parte postero-inferior, la impresión del ligamento costoclavicular, que normalmente presenta una morfología ovalada, y en la parte postero-superior la impronta del músculo esternocleidomastoideo. Por su parte, en la región anterior se puede observar la impronta que provoca la inserción del músculo pectoral mayor.

La diáfisis clavicular es más o menos cilíndrica y uniforme en toda su longitud. La superficie anterior es ligeramente rugosa debido a las improntas de los grupos musculares del pectoral mayor y el esternocleidomastoideo. Por otro lado, la parte posterior es bastante más lisa ya que sólo se aprecia la impresión del ligamento costoclavicular. En su región media, la diáfisis clavicular presenta un surco para la inserción del músculo subclavio.

La tercera región de la clavícula es la que se conoce como extremidad acromial que se caracteriza por presentar una morfología aplanada en el eje cráneo-caudal. Se extiende hacia la parte más lateral del cuerpo y junto con el acromion de la escápula forman la articulación acromioclavicular. La superficie de la parte superior es de textura rugosa debido a las inserciones de varios músculos, de esta manera, en la región posterior se aprecia la inserción del músculo trapecio y en la cara anterior se observa la inserción del músculo deltoides. Sin embargo, la superficie de la cara inferior es más o menos aplanada y lisa. En la parte posterior y muy cerca de la región diafisaria se encuentra el tubérculo conoideo que se manifiesta como una pequeña prominencia ósea de forma redondeada. Inmediatamente después de éste y en dirección hacia la articulación acromioclavicular se extiende una línea diagonal en sentido antero-posterior a la que se denomina, línea trapezoidal. El tubérculo conoideo y la línea trapezoidal son las

improntas que se traducen de la inserción de las dos subdivisiones del ligamento coracoclavicular (conoideo y trapezoidal). (Figuras 11 y 12).

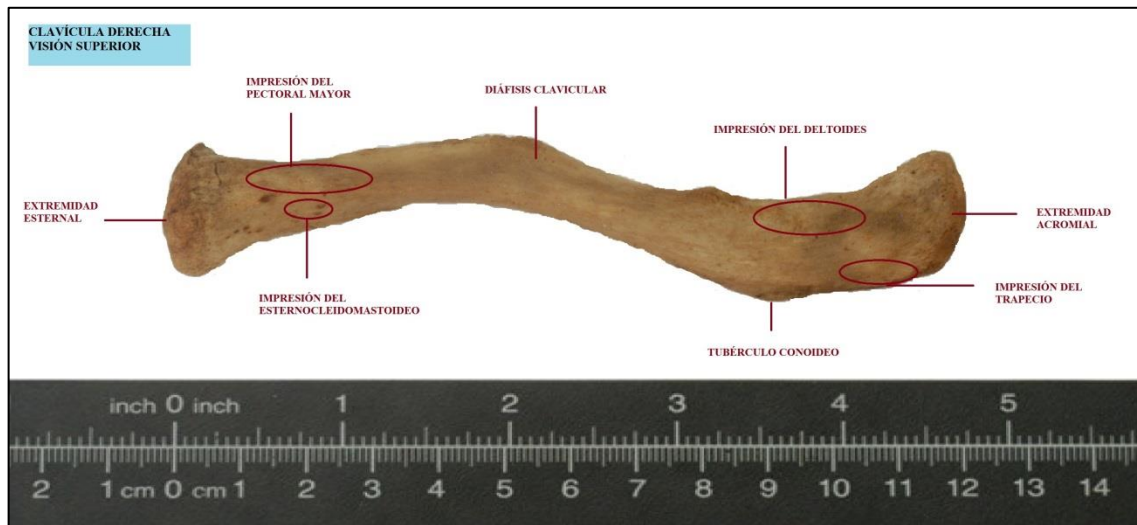


Figura 11. Clavícula derecha. Visión superior.

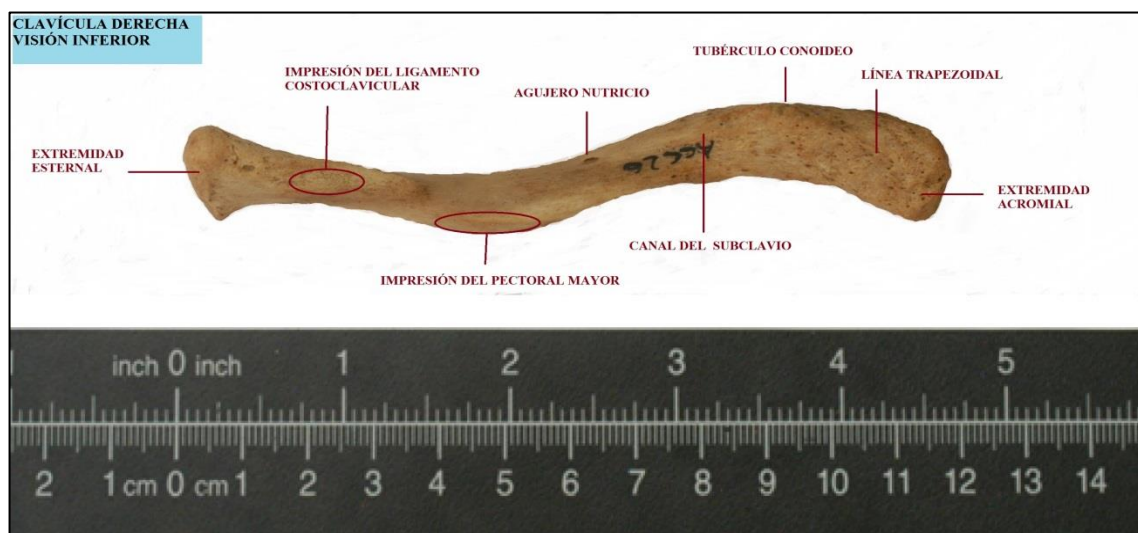


Figura 12. Clavícula derecha. Visión inferior.

En cuanto a la anatomía que se observa a través de pruebas complementarias, como la radiografía o la ecografía, hay que señalar que no es lo mismo la observación de las regiones anatómicas en imágenes de un sujeto vivo que si se trata de realizar el diagnóstico a través del hueso fresco o seco.

Cuando se realizan estudios de sujetos vivos hay una serie de estructuras anatómicas que impiden la buena observación de las clavículas, en algunos casos las proyecciones atípicas pueden llegar a indicar erróneamente la existencia de ciertas anomalías por la

simple superposición de regiones de la escápula o de las costillas (Garamendi, 2007). Además, la morfología de la clavícula es curvada y por ello se debe tener cuidado a la hora de interpretar los resultados en las imágenes radiográficas o ecográficas. Normalmente, por el motivo anterior, se obtiene mayor imprecisión en la extremidad acromial que en la extremidad esternal. Otro problema a tener en cuenta en este tipo de estudios es la existencia de variantes de la normalidad que se deben tener en cuenta a la hora de realizar un diagnóstico, como la persistencia de núcleos de osificación en el extremo esternal, la existencia de una articulación costoclavicular o la duplicación de las clavículas.

Por último, existen una serie de anomalías que pueden ser observadas a través de pruebas complementarias como: ausencia de clavícula, pseudoartrosis, síndrome de Holt-Oram, osteogénesis imperfecta, oxalosis, fracturas, epifisiolisis esternoclavicular, luxaciones, osteolisis postraumática, osteítis condensante, osteomielitis, enostosis, quiste óseo simple, tumor de células gigantes, quiste óseo aneurismático, displasia fibrosa, hemangioma, granuloma eosinofílico, metástasis, mieloma, sarcoma osteogénico, histiocitoma fibroso maligno, sarcoma de Ewing, leucemia y linfoma, hiperparatiroidismo, artritis reumatoide, espondilitis anquilopoyética, hiperostosis idiopática difusa, hiperostosis cortical infantil, osteoartropatía hipertrófica, enfermedad de Paget, neurofibromatosis, talasemia, hiperostosis esternoclavicular o melorheostosis (Kumar, 1989).

Sin embargo, en casos forenses donde es posible la obtención de las clavículas, ya sea porque el sujeto de estudio se encuentra esqueletizado o porque es posible la extracción de las clavículas en la sala de autopsias, la interpretación de las pruebas complementarias es mucho más fácil ya que no existen estructuras anatómicas que interfieran en la valoración y, por tanto, es más sencilla la observación de determinadas áreas que puedan aportar mayor información. Asimismo, el descarte de variantes de la normalidad y anomalías también se realiza de una manera más sencilla (Figura 14).

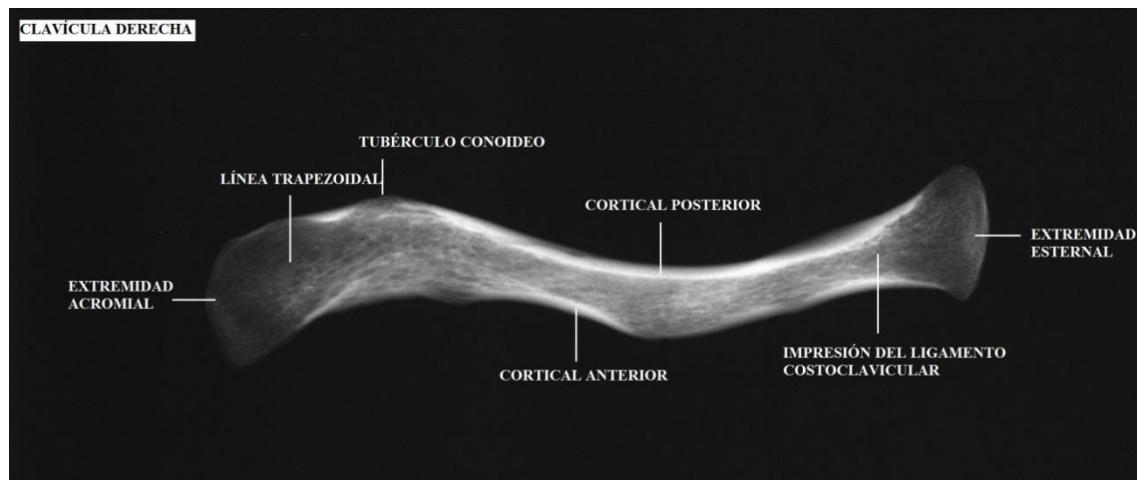


Figura 13. Clavícula derecha. Anatomía radiográfica.

BIOMECÁNICA

La clavícula es uno de los huesos que forma parte del complejo articular del hombro y al que se reconocen cuatro funciones principalmente: servir de soporte para la inserción de grupos musculares como el esternocleidomastoideo, esternohioideo, trapecio, pectoral mayor y deltoides; actuar como punto de apoyo para que la articulación glenohumeral se mantenga en el plano parasagital, con el fin de mantener el rango de movimiento potencial del hombro; transmitir y compensar cargas desde la extremidad superior al esqueleto axial; y proteger el paquete neurovascular que comunica la región torácica y cervical con la extremidad superior (Kapandji, 2002).

Aunque la clavícula interviene en el aumento de movimiento del hombro, la movilidad de ésta es bastante reducida. Tanto por su parte medial como por su parte lateral forma dos articulaciones de tipo artrodias, con movimientos limitados casi exclusivamente a pequeños deslizamientos.

En la región medial del cuerpo, entre la extremidad esternal de la clavícula, el manubrio del esternón y la primera costilla se forma la articulación esternocostoclavicular. Esta articulación está formada por dos superficies articulares que tienen una forma que recuerda a una silla de montar, donde la superficie claviclar encaja perfectamente en la superficie esternocostal de tal forma que la curva cóncava de la primera y la curva convexa de la segunda conectan a la perfección (Kapandji, 2002). Este tipo de

articulación tan sólo permite dos ejes perpendiculares de movimiento: el primero, en el plano horizontal cuya anteposición está limitada por la tensión de los ligamentos costoclavicular y anterior, y cuya retroposición está a su vez limitada por la tensión de los ligamentos costoclavicular y posterior; y el segundo, producido en el plano vertical, se encuentra también limitado, en el ascenso de la clavícula por la tensión del ligamento costoclavicular y el tono del músculo subclavio, y en el descenso, por la tensión del ligamento superior y por el contacto con la cara superior de la clavícula (Kapandji, 2002) (Figura 14).

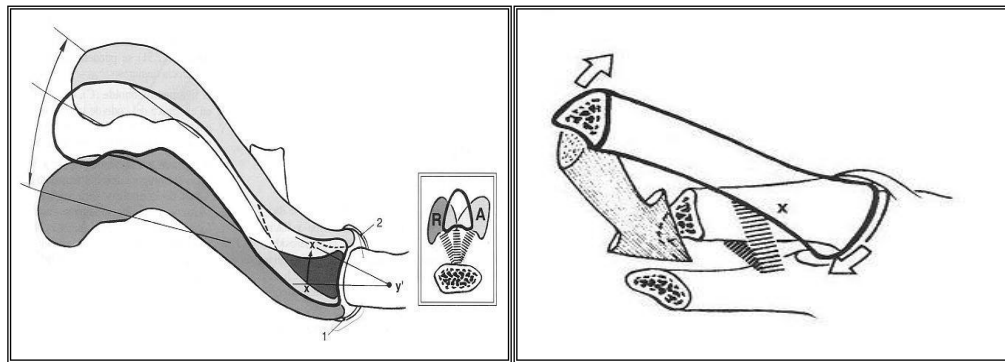


Figura 14. Articulación esternoclavicular. Movimientos en el plano horizontal y en el plano vertical.

Toda la superficie articular de la articulación esternoclavicular está recubierta de fibrocartílago. La cara articular de la clavícula es convexa y la región esternocostal cóncava por lo que ambas zonas son recíprocas, lo que provoca que encajen a la perfección. Entre ambas partes se dispone un disco interarticular plano que es más grueso en la periferia que en el centro y se encuentra unido por la parte superior a la clavícula y por la parte inferior a la primera costilla.

Además existe un grupo de ligamentos que aseguran la estabilidad de la articulación. El ligamento esternoclavicular anterior une la superficie anterior de la clavícula con la escotadura del manubrio del esternón y con el primer cartílago costal. Por su parte, el ligamento esternoclavicular posterior une el extremo posterior de la clavícula con la parte posterior del manubrio esternal. Por último la sujeción de las dos clavículas se realiza por parte del ligamento interclavicular que se sitúa entre las dos caras superiores de las extremidades esternales de ambas clavículas.

En la región lateral del cuerpo, la extremidad acromial de la clavícula forma otra articulación con el acromion de la escápula que se denomina articulación acromioclavicular (Figura 15). Esta estructura forma una articulación de tipo artrodia, que carece de movimiento a excepción de pequeños deslizamientos entre el acromion y la parte distal de la clavícula en forma de rotación axial que se encuentran limitados por la tensión de los ligamentos coracoclaviculares.

Esta articulación se encuentra también rodeada de una cápsula de fibrocartílago. En la parte superior de la articulación algunas veces aparece un disco articular que rara vez separa los dos extremos articulares. La sujeción y refuerzo de esta articulación corre a cargo de tres ligamentos que la mantienen y limitan: el ligamento acromioclavicular que une los extremos superiores de ambas partes articulares, el ligamento capsular y el ligamento coracoclavicular que une ala apófisis coracoides de la escápula y extremidad distal de la clavícula.

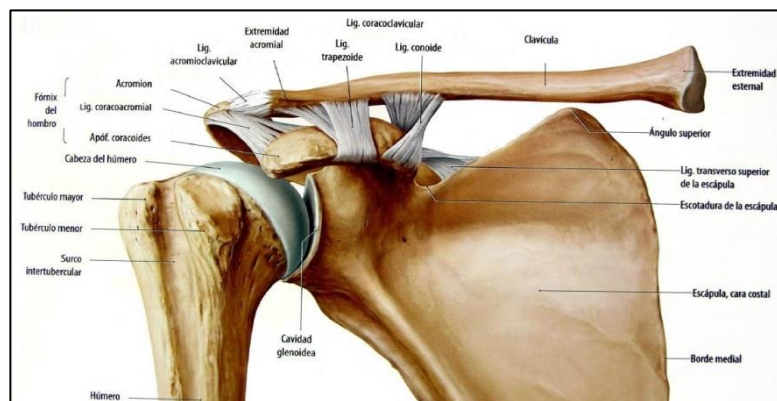


Figura 15. Articulación acromioclavicular.

Como parte de la cintura escapular, la clavícula presenta mucha limitación de movimiento y está más destinada a la función de sostén, por lo que no tiene que soportar una carga biomecánica excesiva.

DESARROLLO EMBRIONARIO Y CRECIMIENTO

La clavícula sigue un modelo de osteogénesis mixto, que significa que en sus primeras fases presenta una osificación intramembranosa que posteriormente da lugar a tejido cartilaginoso desde el que termina realizando una maduración endocondral. Además, la clavícula es uno de los huesos que primero comienza su periodo de osificación y, sorprendentemente, es el hueso largo que más tarde culmina su proceso de maduración y cierre epifisario.

La osificación de la clavícula comienza con la formación de dos núcleos de osificación membranosa entre la 5ª y 6ª semana de gestación que terminan fusionándose en la 7ª semana (Streeter, 1942). Los dos núcleos se sitúan en la zona diafisaria y distal de la clavícula y van desarrollándose a medida que el individuo va creciendo. El núcleo medial es más activo que el distal tanto en el periodo fetal como en la fase de crecimiento en longitud de la clavícula. Además, algunos autores han descrito la morfología en forma de S itálica de la clavícula desde la 9ª semana de gestación, por lo que su aspecto no estaría vinculado con requerimientos funcionales como se pensaba en un principio (Ogata, 1990). Desde el momento del nacimiento los únicos cambios que se producen en la clavícula están relacionados con el aumento en longitud de la misma (Fazekas y Kósa, 1978), (Yarkoni *et alii.*, 1985). Así mismo, se ha comprobado que la tasa de crecimiento en el periodo intrauterino es mucho más rápida que en periodo postnatal (Black y Scheuer, 1996).

De esta manera, la clavícula va creciendo en longitud a medida que el individuo aumenta en edad hasta que se terminan de fusionar las epífisis a la diáfisis clavicular, proceso que culmina en torno a los 21 años en mujeres y 22 años en hombres (Schmeling, 2004).

5.2 LA ESCÁPULA: ANATOMÍA, DESARROLLO EMBRIOLÓGICO, CRECIMIENTO Y BIOMECÁNICA

ANATOMÍA

Etimológicamente, la palabra escápula deriva del sustantivo latino “*scapula*”, que significa escarbar. Por su parte la palabra omóplato, también utilizada para denominar al mismo hueso, proviene del griego “*omos*” que significa hombro y, plato que significa ancho (Skinner, 1961).

La escápula (*scapulae*), es un hueso par que se caracteriza por ser plano, delgado, ancho y de forma triangular, y se localiza en la región postero-lateral del tórax. Consta de tres partes bien diferenciadas: el cuerpo, la espina que se continua en el acromion y la apófisis coracoides. El cuerpo a su vez presenta dos caras, la anterior o ventral y la posterior o dorsal; tres bordes, el superior, el medial y el lateral; y tres ángulos, el superior, el lateral y el inferior (Williams *et alii.*, 1998).

La cara anterior o costal es cóncava en casi toda su extensión, a esta concavidad se le denomina “fosa subescapular”, donde se insertan las láminas tendinosas del músculo subescapular. Hacia la parte medial de la fosa subescapular y recorriendo el borde medial de la escápula se extiende una zona rugosa que sirve de inserción para el músculo serrato anterior.

Por su parte, la cara posterior o dorsal es convexa y está dividida en dos partes bien diferenciadas y separadas por la espina, la “fosa supra-espinosa” y la “fosa infra-espinosa”. Ambas fosas se comunican por la escotadura espino-glenoidea (Williams *et alii.*, 1998). La primera fosa presenta una superficie lisa y sirve para la inserción del músculo supra-espinoso. La segunda fosa se encuentra, a su vez, dividida en dos partes por una cresta que atraviesa el borde lateral y que sirve para distinguir entre la parte medial donde se inserta el músculo infra-espinoso y la parte lateral, otra vez subdividida en dos por una cresta oblicua que delimita las inserciones de los músculos redondo menor y redondo mayor.

En cuanto a los tres bordes que conforman la escápula, el borde superior es corto, delgado y afilado. Hacia la parte más lateral se interrumpe por la escotadura escapular o coracoidea para dar lugar a la apófisis coracoides. El segundo borde es el medial o

espinal, que es el más largo de los tres. En su parte más superior comienza la espina de la escápula donde se insertan los músculos romboides mayor y menor. Por último, el tercer borde, llamado también borde lateral, es una cresta rugosa y delgada que discurre por la parte lateral de la escápula y se encuentra interrumpida en su parte superior por el tubérculo infra-glenoideo, que sirve de inserción para el tendón de la cabeza larga del bíceps braquial.

En la parte superior del borde lateral se encuentra una zona excavada de la escápula a la que se denomina, cavidad glenoidea, que sirve para articular con el húmero. La zona de unión entre el ángulo lateral de la escápula y la cavidad glenoidea se denomina cuello de la escápula.

La espina de la escápula, como se ha citado anteriormente, surge desde el borde medial recorriendo transversalmente la escápula hasta el borde lateral. El borde libre que queda en la espina se llama cresta de la espina que termina formando el acromion. Éste último se articula con la extremidad acromial de la clavícula a través de la articulación acromio-clavicular.

Por último, la apófisis coracoides de inicia en la tuberosidad supraglenoidea (entre la cavidad glenoidea y el cuello de la escápula) y tiene un desarrollo ascencente y lateral. En su extremo más lateral se inserta el ligamento coraco-clavicular (Figura 16).

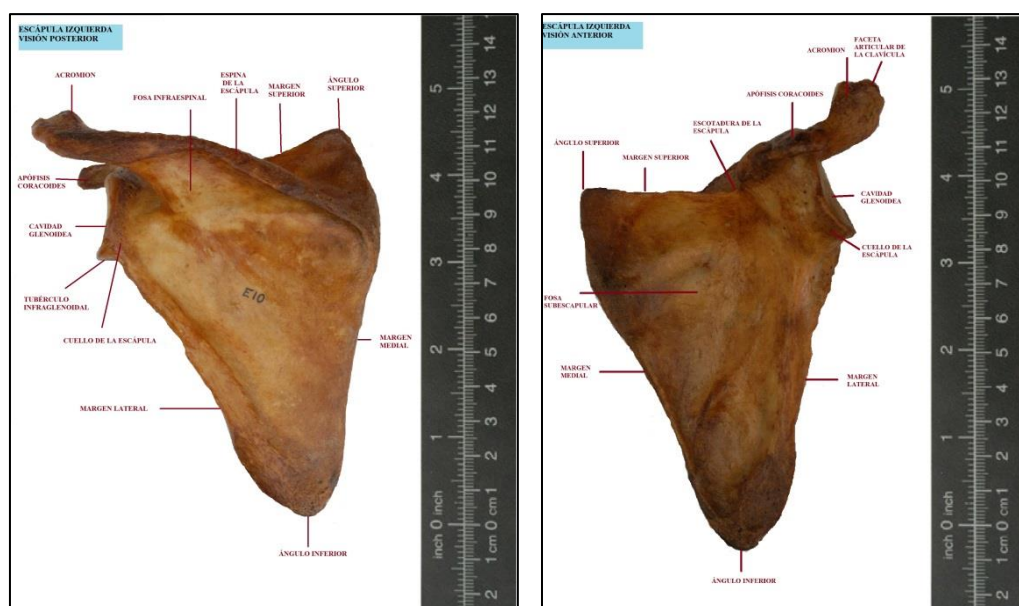


Figura 16. Escápula. Visión anterior y posterior.

En cuanto al estudio anatómico observado a través de pruebas complementarias, como la radiografía, hay que señalar que no es lo mismo la observación de las regiones anatómicas en imágenes de un sujeto vivo que si se trata de realizar el diagnóstico a través del hueso fresco o seco.

Cuando se realizan estudios de sujetos vivos hay una serie de estructuras anatómicas que impiden la buena observación de las escápulas, simplemente, por la superposición de regiones anatómicas pertenecientes a la clavícula o a las costillas. En radiografías de hombro o tórax, las regiones menos susceptibles de sufrir superposición de imágenes son: el acromion, la cavidad glenoidea, el cuello de la escápula y la apófisis coracoides (Brogdon, 1998). Además, para el diagnóstico con mayor calidad de imagen de la escápula se recomienda realizar una radiografía convencional posterior oblicua del hombro o anteroposterior de tórax con el fin de minimizar la superposición de regiones anatómicas.

Por el contrario, cuando se realiza el diagnóstico, con fines forenses, a través de un cadáver es posible la obtención del hueso directamente en la sala de autopsias. Este proceso facilita el estudio ya que tanto a nivel osteológico como a nivel radiológico no va a existir el problema de la superposición de regiones anatómicas que dificulten el diagnóstico de la edad.

BIOMECÁNICA

La escápula es otro de los huesos que constituyen el complejo articular del hombro y la cintura escapular. Es uno de los huesos más importantes en la cadena de movimientos del tren superior y concretamente es el responsable de articular las extremidades superiores con el tronco. Es un elemento de transición entre el tronco y los brazos ya que conecta cada una de estas partes por una articulación ósea.

Para el funcionamiento del complejo articular del hombro, la escápula presenta cuatro tipos de articulaciones: la articulación escapulo-humeral que será explicada en el capítulo de biomecánica del húmero, la articulación subdeltoidea, la articulación escapulo-torácica y la articulación acromio-clavicular.

La articulación subdeltoidea o segunda articulación del hombro no es desde el punto de vista anatómico una articulación, sin embargo, desde el punto de vista fisiológico sí lo es. Esta articulación se encuentra mecánicamente unida a la articulación escapulohumeral, de tal manera que cualquier movimiento en la segunda genera un movimiento en la primera.

Dicha articulación está formada por dos partes: el extremo superior del húmero y el manguito periarticular que forman los músculos supraespinoso, infraespinoso y redondo menor (Kapandji, 2002). Esta articulación permite desplazarse al troquíter hacia arriba y hacia dentro durante el movimiento de abducción, de modo que el fondo de saco de la bolsa serosa subdeltoidea se desplace y se sitúa debajo de la articulación acromioclavicular, a su vez, la bolsa se desplace hacia dentro de forma que la lámina superficial se repliega y la cabeza del húmero se puede deslizar por debajo de la bóveda acromiodeltoidea (Figura 17).

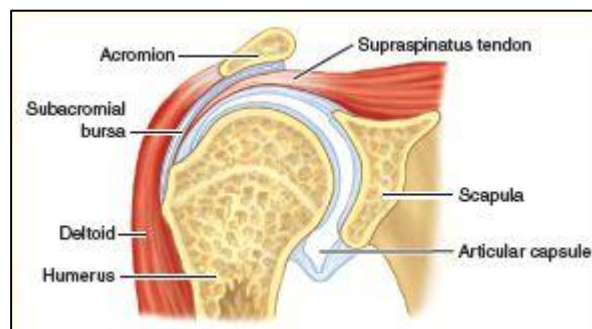


Figura 17. Articulación subdeltoidea. Bolsa serosa subdeltoidea

La articulación escapulotorácica está considerada articulación ya que fisiológicamente lo es, aunque anatómicamente en su sentido más estricto no lo sea. Esta articulación no puede actuar sin la articulación acromioclavicular y la articulación esternoclavicular, a las que se encuentra mecánicamente unida.

Las partes que componen dicha articulación son dos: la zona omoserrática, formada por atrás y por fuera por la escápula junto con el músculo subescapular, y por delante y por dentro por el serrato mayor; y la zona parietoserrática que está formada por dentro y por

delante por la pared torácica (costillas y músculos intercostales), y por detrás y por fuera por el serrato mayor (Kapandji, 2002) (Figura 18).

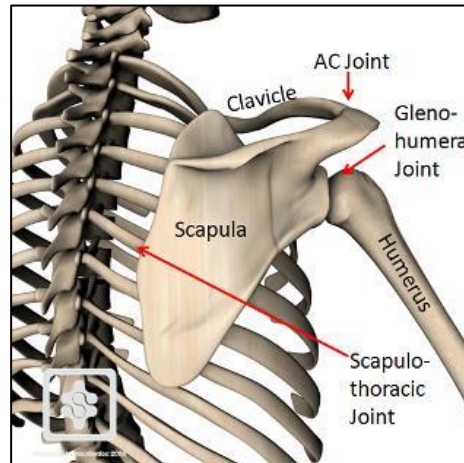


Figura 18. Articulación escapulotorácica.

Esta “falsa” articulación desempeña cuatro movimientos durante la abducción activa: un ascenso de aproximadamente 8 – 10 cm, un movimiento de campanilla de progresión lineal cuando la abducción pasa de 0 a 145°, un movimiento basculante en torno a un eje transversal, oblicuo de dentro afuera y de atrás adelante, desplazando la punta de la escápula hacia delante y hacia arriba, y un movimiento de pivote en torno a un eje vertical difásico que permite a la glenoide moverse hacia atrás cuando la abducción es de 0 a 90° y volver a su posición casi inicial a partir de los 90° de abducción (Izquierdo, 2008).

Por último, la articulación acromio-clavicular es la cuarta articulación en la que se encuentra implicada la escápula y que interviene en los movimientos del complejo articular del hombro. Esta articulación de tipo artrodia ya fue explicada en la subsección de biomecánica de la clavícula.

DESARROLLO EMBRIONARIO Y CRECIMIENTO

La escápula es un hueso que proviene de los somitas 8 al 10 que dan lugar al desarrollo de las vértebras cervicales de la quinta a la séptima. Los primeros núcleos de

osificación, según varios autores, son visibles a partir de la 8ª semana de gestación, como indican los estudios que han observado la aparición de cadenas periostiales previas al inicio del proceso de osificación endocondral en este momento del desarrollo embrionario (Streeter, 1942), (O’Rahilly y Gardner, 1972), (Antonetti, 1997). El primer núcleo de osificación visible aparece alrededor de la 8ª semana en la fosa infraespinosa, posteriormente aparece el núcleo de osificación de la fosa supraespinosa a la 9ª semana de gestación. En la 13ª semana ya es visible el núcleo para la base del acromion y para el cuello de la cavidad glenoidea (Antonetti, 1996), (Van Zalen-Sprock *et alii.*, 1997). Entre la 12ª y 14ª semanas la escápula ya presenta una morfología similar a la adulta (Fazekas y Kósa, 1978).

En el momento del nacimiento hay regiones en la escápula que ya se han osificado y otras que aún mantienen su estructura cartilaginosa, como son: el acromion, la apófisis coracoides, el borde medial y el ángulo inferior. Estas estructuras van osificándose en etapas postnatales.

El centro de osificación del acromion no se desarrolla como un único núcleo de osificación sino que se forma un conjunto de 4 núcleos que pueden ser detectados a partir de los 14 años. La fusión de los diferentes núcleos culmina entre los 18 y los 20 años de edad (Mc Kern y Stewart, 1957).

Por su parte, el primer núcleo de osificación de la apófisis coracoides es detectable desde el primer año de vida, y se encuentra unida por cartílago a la escápula hasta los 14-15 años, que finalmente se fusiona con ella. Son apreciables, durante su desarrollo, tres núcleos de osificación secundaria para la apófisis coracoides: el subcoracoideo, que aparece entre los 8 y los 10 años de edad y culmina su proceso de fusión con el cuerpo de la escápula y la base de la coracoides entre los 16 y los 17 años; la epífisis del ángulo de la coracoides, que aparece entre los 14 y 15 años de vida y se fusiona en torno a los 20 años de edad; y la epífisis del ápex de la coracoides, que se detecta entre los 13 y los 16 años de vida y culmina su fusión con la escápula a los 20 años (Flecker, 1942), (Birkner, 1978).

El centro de osificación de la cavidad glenoidea aparece entre los 14 y los 15 años de vida como unos islotes que se unen entre sí para dar lugar a una lámina que se fusiona al cuerpo de la escápula en torno a los 20 años (Birkner, 1978).

También aparecen como pequeños islotes los núcleos de osificación del borde medial de la escápula y del ángulo inferior de la misma. Ambos centros son detectables entre los 15 y los 17 años de vida y terminan su fusión con el cuerpo en torno a los 23 años (Birkner, 1978).

5.3 EL ESTERNÓN: ANATOMÍA, DESARROLLO EMBRIOLÓGICO, CRECIMIENTO Y BIOMECÁNICA.

ANATOMÍA

Etimológicamente la palabra esternón proviene del griego “*sternon*”, vocablo que designa una superficie plana y extensa del pecho del varón (Field y Harrison, 1957). Sólo muy tardíamente, Galeno, en el siglo II d.C introduce el mismo término para referirse al hueso plano en forma de hoja de puñal situado en el pecho y, que articulado con las costillas, forma la caja torácica.

El esternón es un hueso impar y simétrico, situado en la región medial de la parte anterior del tórax. Su morfología plana y afilada hacia la parte inferior le dan un aspecto de puñal. Presenta una longitud de entre 15 y 20 centímetros y una anchura que no sobrepasa los 6 centímetros.

Este hueso, que proporciona el cierre de la caja torácica por su parte anterior, se encuentra dividido en 3 partes viene diferenciadas: manubrio, cuerpo del esternón y apéndice xifoides.

El manubrio o extremidad superior es la región más gruesa del esternón. En la parte superior de la línea media se distingue una escotadura conocida como horquilla del esternón o escotadura yugular, por donde desciende la vena yugular anterior, que delimita las dos carillas articulares para las clavículas a ambos lados. Estas carillas articulares son cóncavas en sentido transversal y ligeramente convexas en sentido anteroposterior y forman junto con la extremidad esternal de las clavículas la articulación esternoclavicular. Por debajo de la escotadura clavicular, y a ambos lados del manubrio, se encuentran las escotaduras costocondrales para la articulación esternocostoclavicular que articula el esternón con los cartílagos de la primera costilla.

Por último, a ambos lados de la región más inferior del esternón aparecen otras carillas de articulación o escotaduras costocondrales que, junto con las primeras carillas de articulación del cuerpo del esternón, sirven para articular los cartílagos costales de la segunda costilla (Williams *et alii.*, 1998). El manubrio tiene una morfología más o menos convexa por su parte anterior y relativamente cóncava por su parte posterior.

El cuerpo del esternón es la parte intermedia de las tres que conforman este hueso. Su cara anterior tiene una morfología casi plana transversalmente y convexa en sentido vertical, y está atravesada por unas líneas transversales que cruzan el cuerpo de un lateral al otro (vestigios de la fusión de las diferentes piezas esternales o esternebrias). En la parte inferior, justo antes del apéndice xifoides, existe una zona más o menos deprimida denominada fosita supraxifoidea (Williams *et alii.*, 1998). La cara posterior, por su parte, tiene una morfología cóncava y presenta, al igual que la región anterior, las líneas transversales de fusión de las esternebrias. Los bordes laterales del cuerpo tienen forma de S itálica y presentan dos tipos de escotaduras: escotaduras costales, que son las carillas articulares para los cartílagos costales de las costillas 3ª a 7ª, y escotaduras intercostales, que son las regiones no articulares que corresponden a los espacios intercostales.

Finalmente, la parte más inferior del esternón o apéndice xifoides es una región muy variable en cuanto a su morfología. Puede ser triangular, oval, rectangular, bífido, curvado hacia delante o hacia atrás, y desviado a izquierda o derecha. Además, en la mayoría de las ocasiones presenta un orificio denominado, agujero xifoideo (Figura19).

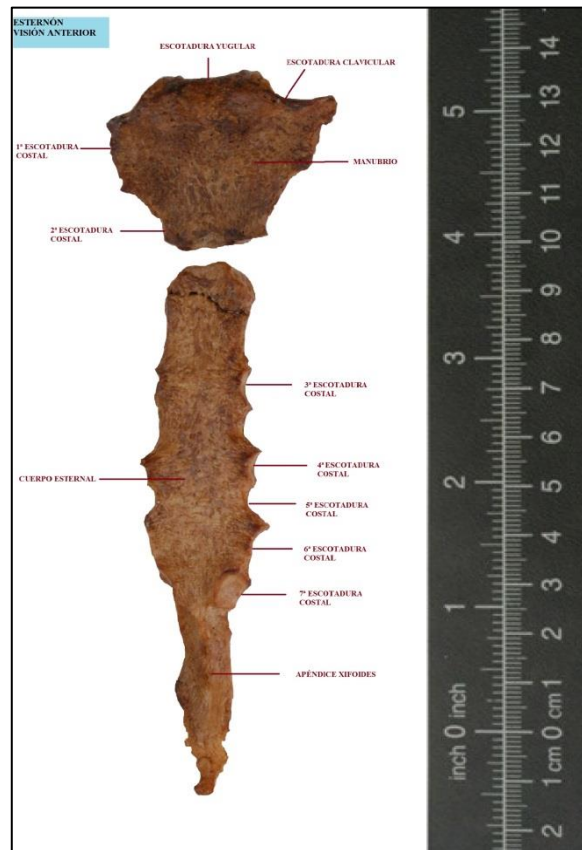


Figura 19. Esternón. Visión anterior.

Muchas veces no es posible realizar el estudio anatómico del hueso directamente y hay que utilizar otras técnicas complementarias, como la radiografía. En estos casos no es tan fácil realizar un diagnóstico ya que la superposición de regiones anatómicas dificulta la visión. En radiografías anteroposteriores de tórax, todas las partes del esternón son susceptibles de sufrir superposición de imágenes ya que su posición medial cerrando la caja torácica hace que en una placa radiográfica se puedan observar también las costillas y vértebras.

Por el contrario el diagnóstico a través de un cadáver es más sencillo ya que es posible la obtención del hueso directamente, lo que facilita el estudio tanto a nivel osteológico como a nivel radiológico.

BIOMECÁNICA

El esternón, como parte de la caja torácica, se encuentra directamente implicado en los procesos de respiración. Durante la inspiración, los cambios volumétricos de la caja torácica se producen por la actividad de los músculos respiratorios que modifican el diámetro vertical de la caja torácica, sin modificar los diámetros anteroposterior y transversal, gracias a la elevación y rotación de las costillas y al desplazamiento hacia adelante del esternón (West, 2005).

La caja torácica se compone, aparte del esternón, de las costillas y las vértebras, que articuladas entre sí permiten sus movimientos. Las articulaciones de la región anterior son las siguientes: articulación esternal superior, articulación esternal inferior, articulaciones esternocostales, articulaciones costocostales, articulaciones intercostales y articulación esternoclavicular.

Las tres partes del esternón se encuentran articuladas entre sí, formando una estructura más o menos flexible que permite la amplitud de la caja torácica. La articulación esternal superior o manubriosternal es la que forman el manubrio y el cuerpo del esternón. Es una articulación de tipo anfiartrosis que permite muy escasos movimientos (Kapandji, 2002). Entre ambos huesos existe una región de fibrocartílago. En su vista lateral se puede apreciar que el manubrio y el cuerpo del esternón se sitúan en planos diferentes, de su unión se crea un ángulo esternal prominente (ángulo de Louis).

La articulación esternal inferior o xifosternales la que se forma entre el cuerpo del esternón y el apéndice xifoides, es una articulación de tipo sínfisis, cartilaginosa primaria (Kapandji, 2002), que se convierte en una sinartrosis alrededor de los 40 años. Entre ambos elementos óseos también aparece una región de fibrocartílago.

Por su parte, las articulaciones esternocostales son las que se forman de la unión entre los cartílagos costales de la 1ª a la 7ª costilla con los bordes laterales del esternón. El primer cartílago costal se une al manubrio del esternón a través de una articulación cartilaginosa primaria, mientras que los cartílagos costales de la 2ª a la 7ª costilla se unen al cuerpo del esternón a través de articulaciones sinoviales planas, que se encuentran reforzadas por el ligamento esternocostal radiado anterior y posterior. La unión de las costillas a las escotaduras del esternón se encuentra reforzada por los ligamentos costosternales.

Otro tipo de articulaciones que se producen en el esternón son las articulaciones costocondrales, articulaciones cartilaginosas primarias que se producen entre el extremo lateral del cartílago costal y el extremo esternal de las costillas. Estas articulaciones, en general no tienen, ningún movimiento. Los ligamentos costocondrales no son en realidad ligamentos de refuerzo, sino que en estos casos el periostio de las costillas se continúa con el pericondrio del cartílago y forman una estructura que les confiere recubrimiento, y le provee de nutrientes.

Por último, las articulaciones intercondrales son articulaciones sinoviales planas que se producen entre los cartílagos costales de la 6ª y 7ª, 7ª y 8ª y 8ª y 9ª costillas. Entre la 9ª y la 10ª también se produce una articulación aunque ésta es de tipo fibrosa. Entre las articulaciones intercondrales se encuentran los ligamentos intercondrales que unen un cartílago condral con el de arriba (Figura 20).

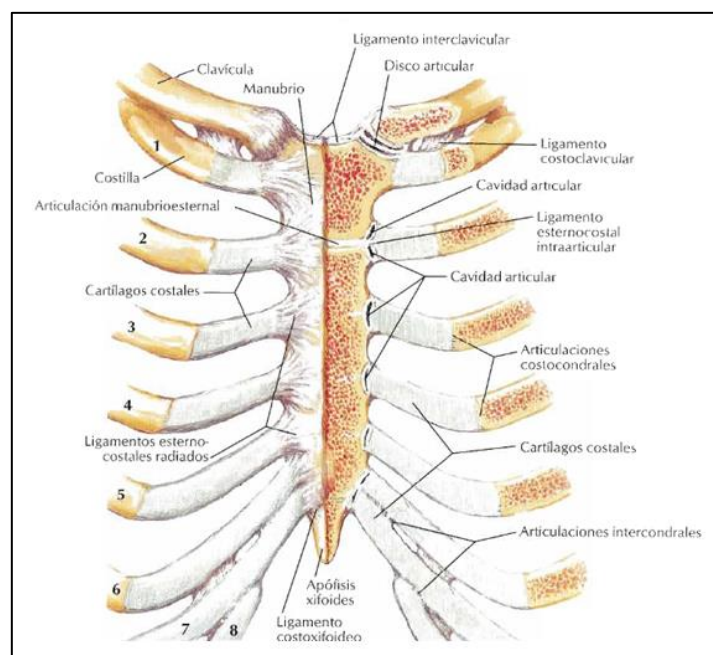


Figura 20. Uniones intercostales, esternocostales e intercondrales.

La caja torácica, como se ha comentado anteriormente, está directamente implicada en los movimientos de respiración. Durante la inspiración, los movimientos de la pared torácica y la contracción del diafragma incrementan el volumen intratorácico. En esta fase también se elevan las costillas como consecuencia de la contracción de los

músculos intercostales, y se aumentan los diámetros, transversal y anteroposterior, del tórax. El aumento de los diámetros torácicos incrementa el volumen haciendo que la presión intratorácica disminuya, permitiendo la entrada pasiva de aire a las vías respiratorias.

Durante la expiración se produce el efecto contrario, los músculos respiratorios se relajan y disminuye el volumen torácico por lo que se produce un flujo de salida de aire hasta que se igualan las presiones alveolares (Figura 21).

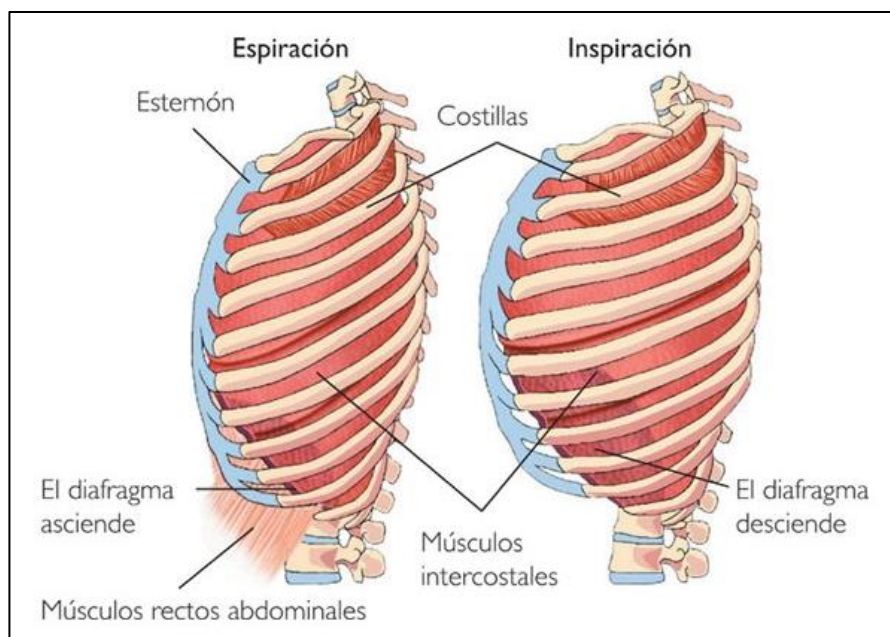


Figura 21. Movimientos de la caja torácica durante la respiración.

DESARROLLO EMBRIONARIO Y CRECIMIENTO

El esternón se desarrolla de manera independiente en el mesodermo somático de la pared corporal. En la octava semana de gestación, a cada lado de la línea media, aparecen dos bandas esternales que luego se fusionarán en dirección supero-inferior en el plano medio, dando lugar a los moldes cartilaginosos del manubrio, esternebras y apéndice xifoides (Carlson, 2004). En la novena semana del desarrollo embrionario se puede observar que el esternón es un molde de cartílago con el proceso xifoideo bífido.

El esternón se osifica a partir de 10 núcleos de osificación: uno para el manubrio, ocho para el cuerpo y uno para el apéndice xifoides. Los centros de osificación aparecen en los intervalos entre las depresiones articulares para los cartílagos costales. En el sexto mes de gestación ya es posible la detección de los núcleos que darán lugar al manubrio y la primera esternebra del cuerpo; en el séptimo mes de gestación aparecen los centros de osificación para la segunda y tercera esternebra del cuerpo; la cuarta esternebra del cuerpo esternal aparece ya en el periodo postnatal, durante el primer año de vida; y entre el quinto y séptimo año de vida aparece el último centro de osificación que dará lugar al apéndice xifoides (Carlson, 2004).

Los núcleos de osificación suelen aparecer en la región superior de los huesos que van a desarrollarse. Además, en algunos casos, aparecen dos centros pequeños al lado de la escotadura yugular que son vestigios del hueso episternal, de otros vertebrados, que se ha ido perdiendo en la fase evolutiva.

En raras ocasiones, en vez de 10 centros de osificación, aparece alguno más. En estos casos, generalmente, un núcleo de osificación se sitúa por encima del otro, siendo el superior el más grande. Cuando los centros de la tercera esternebra se fusionan de manera irregular aparece lo que se denomina como el foramen esternal (Scheuer y Black, 2000), (Fokin, 2000), que es un defecto congénito que se considera muy interesante desde el punto de vista de la identificación humana.

Posteriormente, los núcleos de osificación se unen entre sí, de tal manera que los dos mismos grupos laterales de un segmento se sueldan entre sí en la línea media dando lugar a los cuatro segmentos que componen el cuerpo del esternón, las esternebrias (Testut, 1921). El siguiente paso es la fusión de todas las esternebrias que sigue un proceso inverso al de osificación: primero la cuarta esternebra se fusiona con la tercera entre los 4 y los 10 años de vida, la tercera con la segunda entre los 11 y los 16 años, y por último, la segunda con la primera entre los 15 y los 20 años.

Durante la etapa adulta es bastante frecuente que algunas de las tres partes del esternón se fusionen entre ellas como producto de la edad. De esta manera se ha desarrollado algunos estudios que relacionan el tiempo de fusión de las partes del esternón con la edad de los sujetos de estudio.

5.4 EL HÚMERO: ANATOMÍA, DESARROLLO EMBRIOLÓGICO, CRECIMIENTO Y BIOMECÁNICA

ANATOMÍA

El origen etimológico de la palabra húmero proviene inicialmente del término latino “*humerus*” que significa hombro (Skinner, 1961). La gran diferencia entre los términos “*humerus*” y hombro radica en las distintas reglas de evolución fonética que han intervenido en la formación de ambos términos. A partir de la palabra latina “*humerus*” nos llega, por la vía patrimonial, el término hombro y, por la vía culta, la palabra húmero (Field y Harrison, 1957).

El húmero es un hueso largo, par y no simétrico que constituye únicamente el esqueleto del brazo. Está formado por tres partes bien diferenciadas: el extremo proximal, el extremo distal y el cuerpo o diáfisis.

El cuerpo del húmero es casi rectilíneo y presenta una torsión en su eje que da lugar a un canal de torsión o canal radial. La morfología del cuerpo varía desde su extremo proximal a su extremo distal, siendo cilíndrico en su parte superior y adoptando una forma de prisma triangular en la parte inferior. En el cuerpo o diáfisis se distinguen tres caras y tres bordes: la cara externa, la cara interna, la cara posterior, el borde anterior, el borde interno y el borde externo.

La cara externa, en su parte superior, presenta una doble cresta rugosa en forma de V y la impresión para la inserción del músculo deltoides y el músculo braquial anterior. Por su parte, la cara interna, en su porción media presenta el conducto nutricio del hueso e, inmediatamente superior a éste, presenta la impresión que produce la inserción del músculo coracobraquial. Además, en el tercio medio de la cara interna se encuentra el paso de los tendones del dorsal ancho y del redondo mayor, y enfrente, de estos dos tendones, se encuentra un canal profundo denominado canal bicipital. Por último, la cara posterior es la región donde se inserta la porción media del tríceps o músculo vasto externo, por encima del canal de torsión y, por debajo de él, se inserta la porción menor del tríceps o vasto interno. Entre ambos vastos circula la arteria humeral profunda y el nervio radial (Williams *et alii.*, 1998).

En cuanto a los bordes que presenta el cuerpo del húmero, se pueden distinguir tres: el borde anterior o línea áspera, rugoso por su parte superior, obtuso a su paso por la corredera bicipital y redondeado por su parte inferior; el borde interno y el borde externos, ambos se acentúan a medida que se acercan a la extremidad inferior del hueso. En ellos se encuentran las inserciones a las aponeurosis que separan los músculos anteriores del brazo de los músculos posteriores del mismo.

En la parte más proximal y distal del húmero se encuentran los extremos. En la parte superior del extremo proximal se localiza una superficie redondeada y lisa que se denomina cabeza humeral. Seguidamente se encuentra una porción rugosa y más o menos estrecha, que limita el perímetro de la cabeza, que se denomina cuello anatómico. Hacia la parte más externa del cuello anatómico se localizan dos estructuras: la más pequeña, denominada troquín, se sitúa en la parte anterior y sirve de inserción para el músculo subescapular; la más voluminosa, llamada troquíter, se localiza en la parte posterior y sirve de inserción para el tendón supraespinoso, el músculo infraespinoso y el músculo redondo menor. Entre ambas estructuras se abre paso un canal en dirección vertical que sirve para guiar al tendón de la porción larga del bíceps, que se denomina canal bicipital (Williams *et alii.*, 1998). Por debajo del troquín y el troquíter se encuentra la zona de unión de la parte proximal con la diáfisis del húmero que, en contraposición al citado anteriormente cuello anatómico, se denomina cuello quirúrgico.

El extremo inferior o distal del húmero se encuentra aplanado anteroposteriormente y ensanchado lateralmente. Esta región forma la articulación con el antebrazo a través de una superficie articular que está en relación con el radio y con el cúbito, que presenta tres partes: el cóndilo humeral para la articulación con la cabeza del radio, la tróclea humeral para la articulación con el olécranon del cúbito y el canal condilotrocLEAR. Además, a ambos lados de la región articular se encuentran dos eminencias supraarticulares bastante voluminosas denominadas epitróclea y epicóndilo lateral (Williams *et alii.*, 1998).

El húmero está directamente implicado en el movimiento del complejo articular del hombro así como en la pronosupinación por lo que sirve de inserción para muchos grupos musculares. En el extremo superior se insertan: en el troquíter, el supraespinoso, el infraespinoso, y el redondo mayor; y en el troquín, el subescapular. En la diáfisis se

insertan: en la cara interna, el dorsal ancho, el redondo mayor, el coracobraquial y el braquial anterior; en la cara externa, el deltoides y el braquial anterior; en la cara posterior, el vasto interno del tríceps y el vasto externo del tríceps; en el borde anterior, el pectoral mayor y el braquial anterior; en el borde interno, el braquial anterior, el coracobraquial y el vasto interno; y en el borde externo, el braquial anterior, el vasto interno, el vasto externo, el supinador largo y el primer radial externo. Por último, en el extremo inferior se insertan: en la epitroclea, el pronador redondo, el palmar mayor, el palmar menor, el flexor superficial, el flexor profundo y el cubital anterior; y en el epicóndilo lateral, el segundo radial externo, el extensor común de los dedos, el supinador corto, el extensor propio del meñique, el cubital posterior, y el ancóneo (Williams *et alii.*, 1998) (Figura 22).

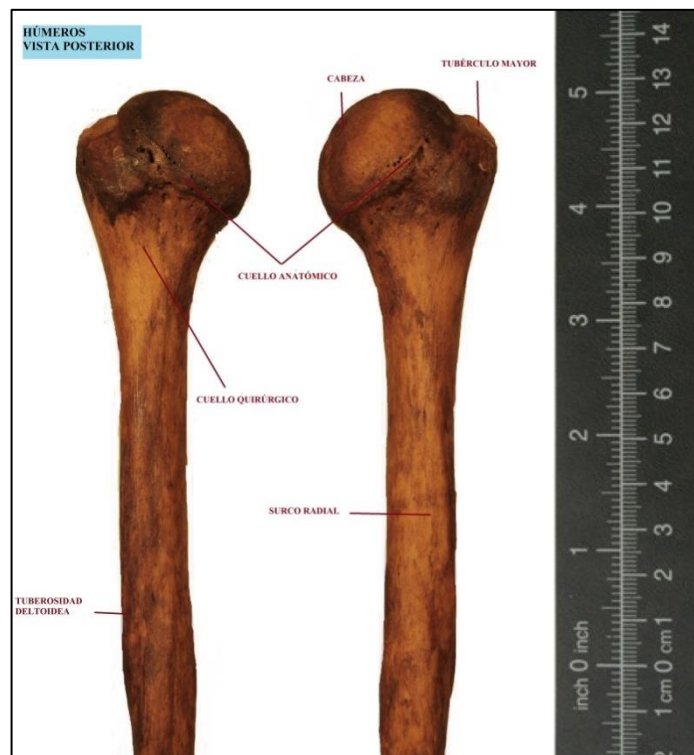


Figura 22. Húmeros. Visión posterior.

No es lo mismo la observación de las regiones anatómicas en imágenes de un sujeto vivo que si se trata de realizar el diagnóstico a través del hueso fresco o seco. En el primer caso es necesario el uso de otras técnicas diagnósticas que ayuden a observar

determinadas regiones anatómicas sin causar demasiado perjuicio al paciente. En este tipo de casos, normalmente se utilizan técnicas como la radiografía o la ecografía.

Cuando se utilizan radiografías de hombro o tórax existe el problema de la superposición de regiones anatómicas que dificultan la percepción de las áreas concretas que quieran observarse. En el caso de realizar diagnósticos en el húmero las regiones más susceptibles de sufrir superposición de imágenes son los extremos, tanto distal como proximal. En el caso del estudio de la región proximal del húmero la dificultad radica en la superposición de todas las estructuras anatómicas que componen el complejo articular del hombro, como son: el acromion, la cavidad glenoidea, la apófisis coracoides o la extremidad acromial de la clavícula (Brogdon, 1998). Por estas razones, para el diagnóstico con mayor calidad de imagen del húmero se recomienda realizar una radiografía anteroposterior de tórax con el fin de minimizar la superposición de regiones anatómicas.

Otra técnica que suele utilizarse para diagnóstico en sujeto vivo es la ecografía. Normalmente se utiliza en casos que requieren la observación de lesiones a nivel muscular y no óseo. Sin embargo, hay algunas veces que puede ser de utilidad en diagnósticos de crecimiento. En estos casos, donde no es posible obtener una imagen generalizada de la zona de estudio se recomienda la realización del diagnóstico por personal especializado y familiarizado con la técnica.

Por el contrario, cuando se realiza el diagnóstico, con fines forenses, a través de un cadáver es posible la obtención del hueso directamente en la sala de autopsias. Este proceso facilita el estudio ya que, tanto a nivel osteológico como a nivel radiológico, no va a existir el problema de la superposición de regiones anatómicas que dificulten el diagnóstico de la edad.

BIOMECÁNICA

El húmero es el último hueso que junto con la escápula y la clavícula compone el complejo articular del hombro.

La articulación escapulo-humeral es la más importante del complejo articular del hombro. Se trata de una verdadera articulación desde el punto de vista estrictamente anatómico: contacto entre dos superficies cartilaginosas de deslizamiento. Presenta tres superficies esféricas articulares, características de una enartrosis, por tanto se trata de una articulación de tres ejes con tres grados de libertad (Figura 23).

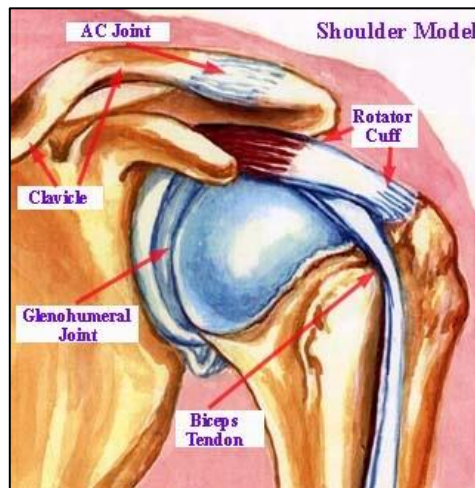


Figura 23. Articulación glenohumeral.

Las tres superficies de articulación son: la cabeza humeral, orientada hacia arriba, hacia dentro y hacia atrás, es alrededor de un tercio de una esfera y, está separada del resto del húmero por el cuello anatómico que, a su vez, contiene dos prominencias llamadas tuberosidad mayor o troquíter y tuberosidad menor o troquín; la cavidad glenoidea de la escápula, situada en el ángulo superoexterno de la misma y orientada hacia fuera, hacia delante y ligeramente hacia arriba es de morfología cóncava para conectar con la cabeza convexa del húmero; y el rodete glenoideo que se trata de un anillo fibrocartilaginoso que se localiza en el reborde glenoideo y al cubrir la escotadura glenoidea aumenta su superficie y acentúa su concavidad.

La articulación escapulo-humeral presenta tres tipos de movimientos: abducción-aducción, flexión-extensión y rotación.

El movimiento de abducción tiene una amplitud de 180° y se realiza en tres tiempos: el primero hasta los 60° en el que intervienen el fascículo medio del deltoides y el supraespinoso; el segundo hasta los 120° gracias a los músculos trapecio y serrato anterior, además necesita la participación de la articulación escapulotorácica; y por

último, el tercero hasta los 180° gracias a la colaboración de la columna vertebral. El ligamento glenohumeral con sus tres haces, conecta la parte superior, media e inferior de la cavidad glenoidea con la cabeza del húmero, y gracias a la tensión de los haces medio e inferior y a la distensión del haz superior, permite la posición de bloqueo del hombro. Otro factor limitante para conseguir esta posición es el impacto del troquíter contra la parte superior de la glenoide y del rodete cotiloideo (Kapandji, 2002).

El movimiento de aducción, se encuentra asociado desde la posición anatómica a los movimientos de flexión y extensión de los que depende, alcanza sólo los 30° evitando el tronco por delante o por detrás (Kapandji, 2002). En este movimiento intervienen los músculos dorsal ancho, redondo mayor, subescapular y pectoral mayor.

En los movimientos de flexión-extensión también intervienen muchos grupos musculares y ligamentos. El movimiento de flexión alcanza una amplitud de 180° y, al igual que el movimiento de abducción, se realiza en tres tiempos: el primero que se produce gracias al fascículo anterior del deltoides, el coracobraquial y el pectoral mayor, que llega hasta los 60°; el segundo, en el que intervienen el trapecio y serrato anterior que llega hasta los 120°; y el tercero que alcanza finalmente los 180°, y se produce gracias a la colaboración de la columna vertebral (Kapandji, 2002).

Por su parte, el movimiento de extensión tan sólo alcanza los 50° y en un solo tiempo. En su movimiento intervienen los músculos redondo mayor, redondo menor, fascículo posterior del deltoides y dorsal ancho (Kapandji, 2002).

El ligamento coracohumeral tiene un papel fundamental en los movimientos de flexión y extensión, gracias a la tensión de sus dos haces: haz troquiteriano por detrás y haz troquiniano por delante. De esta manera, durante la extensión el haz troquiniano se encuentra en tensión y el troquiteriano en distensión, y viceversa durante la flexión.

Los últimos movimientos que permite el complejo articular del húmero son los de rotación: rotación interna y rotación externa. Para la rotación interna intervienen los músculos dorsal ancho, redondo mayor, subescapular y pectoral mayor. El alcance de este movimiento son 100° y se inicia desde la posición de flexión a 90°, con la palma de la mano vertical para que todos los músculos rotadores se encuentren en reposo total. Por su parte la rotación externa se ejecuta en un único movimiento que alcanza los 80° y en el que intervienen el infraespinoso y el redondo mayor (Kapandji, 2002).

DESARROLLO EMBRIONARIO Y CRECIMIENTO

El proceso de osificación del húmero sigue un patrón directo o intramembranoso en el que una membrana de tejido fibroso se transforma en tejido conjuntivo óseo gracias a la acción de los osteoblastos. Por otro lado, la formación de hueso esponjoso que forma la región de las epífisis del húmero sigue un proceso de osificación endocondral basado en la osificación de un molde cartilaginoso a través de la segregación de una matriz orgánica, que posteriormente se calcifica gracias a la actividad de los osteoblastos.

En las primeras fases de la vida del embrión se forma, el molde cartilaginoso que dará lugar al húmero, que se denomina pericondrio. Posteriormente, la vascularización interna estimula a las células sanguíneas osteoprogenitoras de la capa interna del pericondrio a crecer, desarrollarse y convertirse en osteoblastos que darán lugar a una capa externa de hueso compacto alrededor del molde de cartílago que se llama periostio. Simultáneamente, entre las 6 y 8 semanas de vida intrauterina, en el medio de la diáfisis aparece el núcleo de osificación primario que comenzará a crecer a medida que las células cartilaginosas se atrofian y desaparecen (Carlson, 2004). De esta manera el cartílago va calcificándose a la vez que las células osteoprogenitoras siguen dando lugar a osteoblastos que se depositan en las capas externas del periostio engrosándolo. Así, el molde cartilaginoso continúa creciendo en longitud y cuando los vasos sanguíneos llegan a las zonas epifisarias aparecen los centros de osificación secundarios que darán lugar al hueso esponjoso. Cuando estos centros secundarios ya han crecido suficiente, el tejido óseo reemplaza totalmente al cartilaginoso, a excepción de las regiones articulares o en la zona de crecimiento o metafisaria donde sigue manteniéndose.

Los centros de osificación secundarios aparecen en el periodo postnatal en los dos extremos que darán lugar a las epífisis proximal y distal del húmero. En la región proximal aparecen tres centros de osificación secundarios: el que dará lugar a la cabeza humeral que aparece entre 1 y 5 años, el del troquíter que aparece entre los 7 meses y 2 años y el del troquín que se puede observar entre los 5 meses y los 4 años. Por su parte en la región distal se conocen cuatro centros de osificación secundaria: el del epicóndilo lateral que aparece a los 11 años de edad, el de la epitróclea que aparece a los 5 años de edad, el del cóndilo que aparece a los 3 años de edad y el de la tróclea que aparece a los 7 años de edad (Carlson, 2004).

Desde su aparición, los centros secundarios de osificación van creciendo hasta que se fusionan con la diáfisis del húmero cuando ya ha culminado su madurez ósea. Este proceso ocurre primero en la epífisis distal del húmero donde hay trabajos que han descrito el cierre epifisario entre los 13 y los 21 años de edad, y posteriormente en la región proximal del húmero donde se han descrito en la literatura que la culminación del proceso madurativo ocurre entre los 15 y los 25 años de edad (Paterson, 1929).

**6. ESTUDIOS RELATIVOS A LA
ESTIMACIÓN DE LA EDAD DE LA
MUERTE EN SUJETOS ADULTOS:
APLICACIÓN A CADÁVERES
ESQUELETIZADOS.**

6.1 ESTUDIOS RELATIVOS A CAMBIOS DEGENERATIVOS OBSERVADOS EN LA CLAVÍCULA A TRAVÉS DE MÉTODOS RADIOGRÁFICOS.

La clavícula también ha sido objeto de estudio por muchos autores para la estimación de la edad en sujetos adultos que ya han completado la fase de maduración ósea, por su accesibilidad, tanto a nivel radiográfico como a través de una autopsia, y por su escasa carga biomecánica, que permite controlar su pérdida de materia ósea sin asociarla a otros factores externos, como la actividad física. Estas razones han convertido a la clavícula en uno de los huesos en los que mejor pueden preverse los cambios degenerativos progresivos que sufre el cuerpo humano con el aumento de la edad.

Utilizando la clavícula se han desarrollado trabajos de investigación, tanto a nivel osteológico, basándose en estudios osteométricos y características macroscópicas del hueso, como a nivel radiológico, observando los cambios que sufre la estructura interna de las clavículas.

El primer estudio que se conoce fue llevado a cabo por Houzé, en 1908, que estudió una muestra de 4 clavículas de población africana, 3 hombres y 1 mujer, y fue el primero en descubrir que la longitud total de la clavícula es más corta en mujeres que en hombres (Houzé, 1908).

Posteriormente, en 1916, Parsons estudio una muestra de 100 clavículas (50 derechas y 50 izquierdas), de ambos sexos, pertenecientes a la población inglesa (Parsons, 1916). Sobre la muestra analizó: la longitud total de la clavícula, el índice de curvatura y la circunferencia. Los resultados concluyen que la longitud no es un carácter significativo para discriminación sexual, pero sí lo es la circunferencia, que se convierte en un indicador de dimorfismo sexual.

En 1932, Terry, realizó un estudio sobre una colección de 150 individuos, varones y mujeres (caucasoides y africanos), con edades comprendidas entre los 18 y los 72 años (Terry, 1932). Los restos óseos procedían del Departamento de Anatomía de la Facultad de Medicina de Washington, EEUU. Sobre las clavículas, Terry analizó las siguientes características: presencia del tubérculo conoideo, longitud total y relativa (índice clavículo-humeral), ángulo medial y lateral, índice de curvatura, circunferencia absoluta

y relativa, diámetro sagital a nivel del tubérculo conoideo y diámetro sagital máximo, absoluto y relativo, a nivel de la extremidad acromial.

Los resultados demostraron que existían diferencias significativas con respecto al lado; se observó que las clavículas derechas mostraban mayor tendencia a la torsión y a presentar tubérculo conoideo. Con respecto al dimorfismo sexual se observaron diferencias significativas en varios caracteres: en la longitud total y relativa se comprobó que era mayor en hombres que en mujeres; la anchura acromial, absoluta y relativa, también era mayor en hombres y con mayor tendencia a presentar tubérculo conoideo y, en su caso, más desarrollado también en hombres. Por último, también se obtuvieron conclusiones respecto al origen poblacional, encontrándose en menor proporción y desarrollo el tubérculo conoideo en sujetos de origen africano, así como una mayor longitud relativa y menor anchura de la extremidad acromial.

Hasta 1968, no apareció el siguiente estudio relativo a la clavícula. Fue llevado a cabo por Fujita y colaboradores, investigadores japoneses, que analizaron una muestra de radiografías anteroposteriores de tórax, pertenecientes a 198 hombres y 168 mujeres, de origen japonés, con edades comprendidas entre los 10 y los 80 años (Fujita *et alii.*, 1986). El objetivo de su estudio fue evaluar la relación entre la anchura medular y la cortical de la clavícula a nivel mediodiafisario. Para ello, midieron el grosor cortical y el grosor completo de la clavícula en el tercio medio de la diáfisis y lo relacionaron expresando sus resultados en mm y %.

Los resultados del estudio mostraron que no había una buena correlación entre las medidas expresadas en mm y la edad de los individuos, sin embargo la ratio (%) sí aportó buenos resultados, apreciándose un descenso progresivo del % con la edad que fue más pronunciado en mujeres que en hombres. De esta manera, se observó un porcentaje de grosor cortical frente al grosor total de la clavícula del 60% en sujetos de hasta 20 años de edad; en torno al 45% en hombres, y 55% en mujeres, en individuos hasta los 40 años de edad; y un 30%, en ambos sexos, en personas hasta los 70 años.

Siguiendo en la misma línea de investigación, en 1969, Helelä, publica otro estudio cuyo objetivo fue la estimación de la edad en sujetos adultos a través medidas osteométricas de las clavículas en radiografías del tórax (Helelä, 1969). Para ello utilizó una muestra de 470 radiografías de tórax de individuos, de entre 20 y 87 años de edad,

en las que comparaba el grosor de la cortical de las clavículas derechas con la edad de los sujetos de estudio.

Los resultados mostraron que, entre los 20-22 años y los 28-32 años, se apreciaba el máximo grosor de la cortical de la clavícula (6.6 mm en hombres y 6.5 mm en mujeres) y entre los 83 y 87 años se observaba el mínimo grosor cortical (4.3 mm en hombres y 3.9 mm en mujeres). Además de las medidas osteométricas directas, Helelä, también calculó un índice clavicular que correlacionaba la suma del grosor de la cortical, en la región anterior y posterior, con el grosor total de la clavícula en el tercio mediodiafisario. Este índice iba modificándose a medida que los individuos aumentaban en edad. Se observó que los valores oscilaban entre 0.46 y 0.55 en hombres y mujeres, respectivamente, en edades de entre 20 y 22 años; alcanzaba los 0.59 en mujeres de entre 43 y 47 años, y llegaba a los 0.49 en hombres de entre 23 y 32 años; y su valor mínimo lo presentaba entre los 83 y los 87 años de edad, que registraba 0.39 en mujeres y 0.27 en hombres.

En el mismo año 1969, Anton, desarrolló otro trabajo parecido basándose también en la relación entre la disminución del córtex clavicular y la estimación de la edad (Anton, 1969). Para la realización de su estudio utilizó 120 radiografías anteroposteriores de tórax de individuos, de ambos sexos, con edades comprendidas entre los 20 y los 70 años, sobre las que midió el grosor anterior de la cortical de la clavícula en milímetros, en el punto mediodiafisario. No utilizó para su estudio ni el grosor de la cortical de la región posterior, ni el grosor de la cavidad medular, ni el grosor total de la clavícula basándose en dichas medidas no eran fiables.

Tras el análisis, el autor concluyó que el grosor de la cortical disminuye a medida que aumenta la edad de los sujetos, y lo hace de manera más severa en el caso del género femenino. Además, determinó que grosores inferiores a 1.5 mm eran indicativos de osteoporosis.

Unos años más tarde, en 1985, Walker y Lovejoy, realizaron otro estudio para analizar el proceso degenerativo que sufre el sistema trabecular de las clavículas con la edad, basándose en dos características: la radiolucencia relativa y la involución trabecular de la diáfisis clavicular (Walker y Lovejoy, 1985). La muestra que estudiaron estuvo compuesta por radiografías de 500 individuos de diferentes orígenes poblacionales y de ambos sexos, procedentes de las series Hamann-Todd I y II y de la serie de Libben. Los

autores analizaron las radiografías y describieron 8 fases consecutivas para explicar el proceso degenerativo progresivo que ocurre en las estructuras internas de las clavículas con el paso del tiempo.

Las 8 fases se detallan a continuación:

Fase 1: El córtex posterior es prominente y grueso. El canal medular entero está lleno de trabéculas densas, de aspecto granuloso que tienden a alinearse en capas paralelas formando apilamientos. El córtex posterior es también de aspecto granuloso, pero no necesariamente denso. Ambas metáfisis, esternal y acromial, están rellenas de trabéculas de grano fino. Intervalo etario: 18-24 años.

Fase 2: Es similar a la fase 1, aunque se aprecia menor densidad trabecular en las metáfisis. El córtex posterior no muestra grandes cambios. Hay un leve engrosamiento de las trabéculas medulares. El córtex anterior muestra levemente un aumento de trabeculación. No se observa ningún aumento de radiolucencia. Intervalo etario: 25-29 años.

Fase 3: La densidad trabecular de las metáfisis es aún más reducida. Las trabéculas son menos granuladas y menos abundantes. Hay un leve adelgazamiento del córtex posterior, pero sin que se aprecie aún un borde festoneado. El canal medular aún está relleno, pero las formaciones trabeculares apiladas y paralelas son cada vez más escasas. Intervalo etario: 30-34 años.

Fase 4: El córtex posterior se ve bastante reducido en esta fase, sobre todo en los extremos de las metáfisis. Las metáfisis van perdiendo número de trabéculas a medida que éstas se van engrosando. Las formaciones de trabéculas apiladas y paralelas ya no son visibles. Se aprecia un aumento severo de la radiolucencia. Intervalo etario: 35-39 años.

Fase 5: Las metáfisis, esternal y acromial, contienen solamente las trabéculas gruesas. Hay tosquedad trabecular en el canal medular. Adelgazamiento del córtex posterior muy significativo en las extremidades acromial y esternal. También se observa un fuerte adelgazamiento del córtex anterior. Se aprecia una cavidad medular cada vez más amplia. Intervalo etario: 40-44 años.

Fase 6: Es una continuación de las tendencias de la fase 5, pero un poco más acelerado. El aumento de la radiolucencia indica una pérdida ósea sistémica. Intervalo etario: 45-49 años.

Fase 7: Trabéculas muy gruesas son el rasgo dominante. Hay pérdida de masa ósea significativa pero sin evacuación de lumen del canal medular. El córtex se reduce en todos los puntos. Intervalo etario: 50-54 años.

Fase 8: Es difícil discernir la fase 8 de la fase anterior debido a la variación biológica individual, ya que hay sujetos con mayor o menor tendencia a la pérdida de masa ósea. Generalmente hay una gran reducción en el córtex, anterior y posterior, y un aumento del grosor de las trabéculas. Los individuos más mayores presentan una reducción extrema del córtex. Las metáfisis, esternal y acromial, pueden carecer de trabéculas. La trabecularización del córtex anterior puede ser extrema. A lo largo del margen cortical del canal medular se aprecia un aspecto festoneado. Mayor de 55 años.

Los resultados mostraron que existe correlación entre la edad de los individuos y la pérdida progresiva de materia ósea. Además, no se encontraron diferencias debidas al sexo.

Los mismos autores estudiaron también la involución del sistema trabecular en el calcáneo y el fémur. Las diferencias encontradas con la clavícula hicieron a los autores sugerir que la carga biomecánica debida a la actividad física a la que estaban sometidas las diferentes regiones anatómicas, pudiera interferir activamente en la pérdida de materia ósea y por tanto recomendaron utilizar para este tipo de estudios en huesos que no soportasen grandes cargas biomecánicas o que no estuvieran influenciados por factores externos. Concluyeron que la clavícula sería una buena región de estudio.

Mientras que la involución trabecular arrojó buenos resultados, el estudio de la radiolucencia relativa no aportó buena correlación con la edad de los sujetos de estudio.

En 1988, Aoyagi y colaboradores, estudiaron 211 radiografías anteroposteriores de tórax, de ambos sexos, 65 hombres y 146 mujeres, pertenecientes a la población japonesa, de edades superiores a los 40 años. El objetivo del estudio fue relacionar el grosor de la cortical de la clavícula en el punto medio de la diáfisis con la edad, para ello tomaron medidas osteométricas del grosor de las corticales y calcularon el coeficiente de correlación (Aoyagi *et alii.*, 1988).

Los resultados mostraron un descenso claro del grosor de la cortical de la clavícula a medida que aumentaba la edad que se hacía mucho más evidente a partir de los 60 años. Por su parte, el coeficiente de correlación calculado fue -0.69 ($p < 0.01$)

En 1990, Kaur y Jit, realizaron otro estudio para la estimación de la edad en la clavícula relacionando el grosor de la cortical y la médula a nivel de la diáfisis (Kaur y Jit, 1990). La muestra de estudio estuvo compuesta por 210 individuos, 128 hombres y 82 mujeres, con edades comprendidas entre los 15 y los 85 años, procedentes de autopsias de población india. Para su análisis desarrollaron dos índices claviculares obtenidos a través de la relación de mediadas osteométricas: índice cortical en sección longitudinal, que se calcula como la relación entre el grosor cortical y el grosor total en una sección longitudinal; e índice cortical en sección transversal, calculado como la relación entre el grosor de la cortical y el grosor total de la clavícula en una sección transversal. Cada índice se estudió en una muestra de 105 clavículas.

Los resultados demostraron que existe un aumento de ambos índices corticales hasta los 30 años de edad, que se percibe en ambos sexos. Después de los 30 años, los índices disminuyen progresivamente hasta los 40 años, similarmente en ambos sexos y, a partir de esa edad, la reducción de los índices se hace más acusadamente en el sexo femenino que el masculino. Además, los resultados concluyen que no se aprecian diferencias entre clavículas izquierdas y derechas.

Trece años más tarde, en 2003, Feducib, desarrolló otro estudio con población ucraniana en que utilizó 120 individuos procedentes de autopsias, de ambos sexos, y con edades comprendidas entre los 20 y los 80 años, con el fin de establecer una relación entre los índices claviculares y la edad (Feducib, 2003). Para el experimento se extrajeron las clavículas de los cadáveres para posteriormente radiografiarlas y tomar las siguientes medidas osteométricas: anchura total en el tercio mediodiafisario, anchura de la cavidad medular en el mismo punto y longitud de la clavícula. Con estas medidas desarrollaron dos índices claviculares: IC1, que se calculaba restando la anchura de la cavidad medular a la anchura total de la clavícula en el punto mediodiafisario, dividido entre la anchura total de la diáfisis y multiplicado por 100; y el IC2, que consistía en dividir la anchura de la cavidad medular entre la longitud total de la clavícula y multiplicarlo por 100.

$$IC1 = (\text{Anch total} - \text{Anch modular} / \text{Anch total}) \times 100$$

$$IC2 = (\text{Anch modular} / \text{Long total}) \times 100$$

Las conclusiones indicaron que el IC1 disminuía a medida que aumentaba la edad, mientras que el IC2 aumenta con la misma. Ambos resultados están basados en el hecho de que la cavidad medular crece progresivamente a medida que disminuye la cortical de la clavícula.

Garamendi en su tesis doctoral, en 2007, desarrolló un estudio en población española para la estimación de la edad en el que analizó una muestra de 123 radiografías anteroposteriores de tórax procedentes de un centro de radiodiagnóstico de Bilbao, de individuos con edades comprendidas entre los 0 y los 80 años. Sobre las radiografías se analizó el grosor de la cortical de la clavícula a tres niveles: en el punto mediodiafisario, en el punto medio de la mitad esternal y en el punto medio de la mitad acromial. El autor estableció 6 índices corticales relacionando el grosor de la cortical en la región anterior, posterior y la suma de ambos, con el grosor total de la clavícula en el punto mediodiafisario, punto medio de la mitad esternal y punto medio de la mitad acromial. Posteriormente, desarrolló otros 6 índices relacionando los grosores de las regiones anterior y posterior y la suma de ambos, con la longitud total de la clavícula en el punto medio diafisaria, en el punto medio de la mitad esternal y en el punto medio de la mitad acromial. La creación de estos índices estuvo basada en el estudio de Feducib (2003).

Los resultados mostraron que los índices corticales claviculares obtenidos de las diáfisis de las clavículas no presentaban una buena correlación con la edad, por lo que el autor no recomienda su uso como indicador para la estimación de la edad en adultos en casos de interés forense. Concluye que las técnicas de radiografía digital obtenidas a partir de métodos directos no son un formato ideal para estudio basados en mediciones métricas (Garamendi, 2007).

En 2013, Milenkovic y colaboradores, fueron los autores de un trabajo para la estimación de la edad en casos de interés forense que analizó las clavículas de 67 individuos, 42 hombres y 25 mujeres, de entre 20 y 90 años, pertenecientes a la población serbia. Sobre las clavículas se realizó un estudio osteológico, radiológico e histológico y se analizaron varias características: estado de fusión de la epífisis esternal,

morfología del margen, superficie y carilla articular para la primera costilla, fracción de volumen de hueso trabecular y mínima anchura trabecular.

Los resultados concluyeron que para la estimación de la edad en sujetos menores de 30 años la fusión epifisaria funcionaba correctamente. Además, hubo otras características que demostraron ser buenos indicadores de la edad en sujetos adultos, como la presencia de lipping y exostosis en la carilla articular para la primera costilla o la fracción de volumen de hueso trabecular y la anchura mínima de las trabéculas. En todas las características se comprobó la diferencia existente entre sexos. No obstante, los autores recomiendan usar estos resultados con cautela debido al reducido número de muestra estudiada (Milenkovic *et alii.*, 2013).

Por último, en 2014, Benito y colaboradores, publicaron un estudio, en población española, en el que relacionaban la disminución del grosor cortical de la clavícula y la degeneración que sufre el sistema trabecular con el avance de la edad, a través de los índices claviculares y de la densidad de gris. La muestra de estudio estuvo constituida por 332 radiografías de clavículas procedentes de la colección de esqueletos identificados de La Escuela de Medicina Legal de Madrid (UCM), pertenecientes a 181 individuos, de ambos sexos, con edades comprendidas entre los 20 y los 93 años. Sobre ellas se analizaron cinco variables: tres índices claviculares basados en la relación entre el grosor de la cortical en la región anterior, posterior y la suma de ambos, con el grosor total de la clavícula, en el punto mediodiafisario; y las otras dos basadas en las variaciones de gris detectadas a nivel de las extremidades esternal y acromial como indicador del proceso degenerativo del sistema trabecular.

En los resultados se observó que existían diferencias significativas entre ambos sexos, aunque no fueron detectadas entre ambos lados. En cuanto a las variables de estudio, se apreció que mientras las variables basadas en las variaciones de gris no eran buenos indicadores para la estimación de la edad, ya que no presentaban una alta correlación (-0.55 y -0.372 en hombres y -0.57 y -0.35 en mujeres), los índices claviculares sí predecían bien la edad de los sujetos de estudio, siendo el mejor de todos el índice total, que relaciona la suma de ambas corticales con el grosor total de la clavícula en el punto medio de la diáfisis (-0.70 en hombres y -0.63 en mujeres). Además, gracias al estudio de regresión se comprobó que la mezcla de varios índices mejoraba significativamente los resultados (Benito *et alii.*, 2014).

6. 2 ESTUDIOS DE LA ESCÁPULA RELATIVOS A LA ESTIMACIÓN DE LA EDAD DE LA MUERTE EN SUJETOS ADULTOS.

La escápula no ha sido objeto de muchos estudios para la estimación de la edad debido a que su gran implicación dentro del completo articular del hombro hace que en ella se inserten grandes grupos musculares que pueden intervenir en cambios morfológicos con el avance de la edad. No obstante hay algunos trabajos que, teniendo en cuenta su fuerte carga biomecánica, han intentado desarrollar métodos para la estimación de la edad.

En 1922, Graves publicó uno de los primeros estudios relativos a la estimación de la edad en sujetos adultos basándose en los cambios morfológicos de la escápula (Graves, 1922). En su trabajo se dividieron en dos los cambios que se producían en la escápula con el paso del tiempo: osificación y atrofia. De esta manera, el autor engloba como osificación a todos los procesos que ocurren a partir de estructuras cartilaginosas que rodean la cavidad glenoidea: la faceta de articulación para la clavícula, el extremo del acromion, la zona de unión de la articulación escapulo-torácica, y la zona de pliegues escapulares. Por su parte, los procesos atróficos serían todos aquellos que derivan de un proceso degenerativo, pero no de composición. Son comúnmente conocidos como los indicadores de edad en la escápula: pérdida de la superficie vascular, formación de la mancha atrófica, caracterizada por la deposición de unos parches discretos de hueso en grandes áreas de la escápula, y adelgazamiento del cuerpo de la escápula.

La muestra de estudio procedió de la colección Hamann-Todd (Museo de Historia Natural de Cleveland). Su estudio se desarrolló sobre 750 esqueletos, de sexo y edad conocidos, con edades comprendidas entre los 0 y los 88 años.

Los resultados de su estudio demostraron que estas variaciones morfológicas tenían relación con la edad de los individuos de estudio. El autor observó que mientras que los procesos de osificación tenían menos utilidad por su baja correlación con la edad, los procesos atróficos sí eran buenos indicadores, siendo las más discriminantes de todas, la presencia de la mancha atrófica que aparecía en individuos mayores de 45 años, y el adelgazamiento de la región subespínosa del cuerpo de la escápula indicativo de sujetos mayores de 40 años.

En 1996, se desarrolló otro trabajo sobre 420 escápulas (210 individuos), distribuidas por igual entre género y origen poblacional, pertenecientes a la colección Hamann-Todd del Museo de Historia Natural de Cleveland (Nicholson et alii, 1996). Sobre ellas se evaluaron características métricas, como: la longitud, la anchura, el espesor anterior del acromion y la faceta acromial de la articulación acromioclavicular. Con estos datos se distribuyó la muestra en 3 tipos morfológicos: tipo I, escápula plana, tipo II, escápula curvada y tipo III, escápula en forma de gancho. Tras la distribución, se sometió la muestra a un análisis estadístico para comprobar si existía correlación con la edad de los individuos de estudio. Los resultados no evidenciaron ninguna relación entre estos parámetros y la edad.

Por otro lado, también se estudiaron los cambios degenerativos que aparecían en el acromion y se relacionaron con la edad de los sujetos. No se encontraron correlaciones claras, pero sí algunas características que aparecían solamente en individuos de edad avanzada, como es el caso de la presencia de espolón en la faceta anterior del acromion, que sí es una característica dependiente de la edad.

En el año 2000, Bonsell y colaboradores, publicaron un artículo sobre la relación entre el sexo, la edad y los cambios degenerativos que se observaban en radiografías de hombro (Bonsell *et alii.*, 2000). Para su estudio utilizaron una muestra de 84 radiografías de hombro de personas, entre 40 y 83 años de edad, que no presentaran ningún síntoma que pudiera sugerir una patología. Sobre ellas se analizaron 23 áreas específicas a las que se les asignó un valor del 0 al II, según el grado de desarrollo (0 normal, I leve desarrollo, II desarrollo avanzado). Las regiones de estudio fueron las siguientes: esclerótica medial del acromion, osteofitos en la región inferior y superior del acromion, quistes subcondrales en el acromion, osteolisis acromial, estado de la articulación acromioclavicular, esclerótica lateral de la clavícula, osteofitos en la región superior e inferior de la clavícula, quistes subcondrales en la clavícula, osteolisis distal en la clavícula, esclerosis en la tuberosidad mayor del húmero, osteofitos en la tuberosidad mayor, quistes subcondrales en la tuberosidad mayor, osteolisis en la tuberosidad mayor, calcificaciones en la tuberosidad mayor, distancia acromiohumeral, forma del acromion, presencia de espolón en el acromion y esclerosis del acromion.

Los resultados concluyeron que casi todas las características estudiadas presentaban buena correlación con la edad de los sujetos (análisis de regresión múltiple; $p < 0.05$), sin embargo no se encontraron diferencias entre ambos sexos.

En 2004, se desarrolló otro estudio con el propósito de analizar el sistema trabecular y la densidad mineral ósea de las diferentes regiones de la cavidad glenoidea y relacionar las variaciones encontradas con la edad y con el grado de actividad física (Lehtinen *et alii.*, 2004). La muestra de estudio fueron las escápulas de 20 cadáveres, 12 hombres y 8 mujeres, 11 derechas y 9 izquierdas, que tenían una media de edad de 72 años. Para su estudio se realizó una tomografía computerizada cuantitativa periférica axial con el fin de estudiar la cavidad glenoidea. La zona articular se dividió en 6 cuadrantes: superoanterior, superoposterior, medioanterior, medioposterior, inferoanterior e inferoposterior.

Los resultados mostraron que el sistema trabecular estaba más desarrollado en las regiones anteriores, mientras que la densidad mineral ósea era mayor en las regiones superiores ($p < 0.01$). La interpretación de los autores fue que la densidad mineral ósea es mayor en la parte superior ya que así proporciona un mejor respaldo para cualquier tipo de fijación muscular o ligamentosa. En cuanto al sistema trabecular más desarrollado en las regiones anteriores, los autores, explican que podría ser debido a las propiedades mecánicas de la cavidad glenoidea.

En 2004, se realizó otra investigación para intentar relacionar los cambios morfológicos del acromion con la edad, que fue llevado a cabo sobre una muestra de 154 escápulas (107 varones y 47 mujeres), con edades comprendidas entre los 16 y los 87 años de edad (media = 49 \pm 17 años), procedentes del Hospital de Siriraj, Bangkok, Tailandia (Sangiampong *et alii.*, 2007). Sobre esta muestra se estudió la morfología del acromion en base a tres características: la longitud, la anchura, y la curvatura. Los resultados concluyeron que no se apreciaban diferencias entre los cambios morfológicos y la edad de los sujetos de estudio, por lo que los autores no recomiendan este método como útil para estimación de la edad en adultos.

Dabbs y Moore-Jansen, en 2012, desarrollaron un método para la estimación de la edad en sujetos adultos a través de las variaciones morfológicas de la escápula basado en los criterios propuestos por Graves (1922). La muestra de estudio estuvo constituida por un total de 804 individuos de diferentes grupos poblacionales (169 mujeres africanas, 194

hombres africanos, 139 mujeres caucasoides, 302 hombres caucasoides), de edades comprendidas entre los 19 y los 93 años, procedentes de la colección ósea de Hamann-Todd (población americana de los siglos XIX y XX), del Museo de Historia Natural de Cleveland. Sobre las escápulas analizaron una serie de variables relacionadas con la osificación y atrofia con el fin de relacionarlas con la edad de los sujetos y con el origen geográfico de los mismos (Dabbs y Moore-Jansen, 2012).

Las 23 variables observadas para este estudio fueron las siguientes: anchura máxima de la escápula, longitud máxima de la espina, longitud máxima de la escápula, longitud de la línea infraespinosa, longitud de la línea supraespinosa, grosor del borde superior, grosor de la muesca medial, grosor del borde lateral, grosor del borde inferior, grosor del borde medial, longitud de la apófisis coracoides, altura de la apófisis coracoides, curvatura entre el borde inferior y la muesca medial ($1/4$, $1/2$, $3/4$), longitud entre el borde inferior y la muesca inferior, longitud entre el borde inferior y la muesca medial, curvatura entre la fosa subespinosa y el eje de la espina, anchura de la mitad del cuerpo, anchura del cuerpo a nivel infraespinoso, longitud del margen lateral de la región infraespinosa, altura de la cavidad glenoidea y anchura de la cavidad glenoidea.

Los resultados mostraron diferencias significativas entre todos los grupos de diferente origen poblacional, así como variaciones entre ambos sexos. Estas diferencias fueron explicadas por los autores como fruto de la diferente tensión laboral que hubieron sufrido los distintos grupos de personas en vida, ya que se sabe que durante los siglos XIX y XX las escalas sociales estaban divididas por origen geográfico, existiendo grupos de personas con niveles socioeconómicos muy bajos que fueron objeto de discriminación social y laboral. Además, se observó que existía relación entre los cambios morfológicos observados en la escápula y la edad de los sujetos de estudio, lo que sugería que podría ser un método para la estimación de edad en sujetos adultos, siempre y cuando se tuviera muy presente el tipo de actividad física desarrollada por la población de estudio en vida. Por último, destacan que el método propuesto por Graves (1922) basado en la osificación y atrofia de la escápula es demasiado simple y por tanto requiere de revisión.

Por último, en 2013, Benito y Sánchez, publicaron un trabajo en el que relacionaban la pérdida de materia ósea a medida que aumentaba la edad de los individuos. Para ello, utilizaron una muestra de 226 escápulas, 124 hombres y 102 mujeres, de entre 20 y 93

años de edad, pertenecientes a la colección esqueletos, de sexo y edad conocidos, de La Escuela de Medicina Legal de Madrid. Las escápulas fueron radiografiadas y digitalizadas de manera estándar y sobre ellas se midió la densidad ósea utilizando una escala de grises en dos regiones anatómicas: cavidad glenoidea y acromion (Benito y Sánchez, 2013).

Los resultados mostraron que ninguna de las dos variables de estudio tenía buena correlación con la edad de los sujetos y por tanto no eran buenas indicadores para la estimación de la edad. Los autores sugieren que el problema podría deberse a la baja calidad de las imágenes radiográficas y recomiendan realizar este tipo de estudios con técnicas que tengan un mayor poder discriminante como TAC o densitometría.

6.3 ESTUDIOS RELATIVOS AL ESTERNÓN Y EL TIEMPO DE FUSIÓN DE CADA UNA DE SUS PARTES Y SU APLICACIÓN A LA ESTIMACIÓN DE LA EDAD DE LA MUERTE.

Uno de los procesos degenerativos que se han asociado con la estimación de la edad en sujetos adultos ha sido el tiempo de fusión de los tres elementos que componen el esternón.

El primer estudio que se conoce sobre la estimación de la edad adulta a través de la fusión de las tres partes del esternón fue llevado a cabo por Dwight, en 1881. El autor publicó un trabajo basado en el estudio morfométrico del esternón y su relación con el sexo, edad y talla de 72 individuos originarios de población caucásica y africana (46 hombres y 26 mujeres), de entre 17 y 82 años. En cuanto a la edad, el autor, destaca que el tiempo de fusión de las tres partes del esternón es de poco valor para la estimación de la edad en adultos ya que le es imposible establecer de manera certera en qué momento se produce la fusión (Dwight, 1881).

Unos años más tarde, Trotter publicó un trabajo en el que se relaciona la edad y el tiempo de fusión del manubrio y el apéndice xifoides con el cuerpo del esternón, en una muestra de individuos de origen caucásico y africano que fueron examinados durante años. Los autores observaron que, con el paso del tiempo, las sincondrosis originales

entre el manubrio y el apéndice xifoides con el cuerpo del esternón se transformaban en sinostosis, y por ello relacionaron estos cambios con el avance de la edad (Trotter, 1934).

Otro autor de procedencia india, en 1986, desarrolló un estudio de gran aportación a la ciencia ya que valoró el estado de fusión del manubrio y el apéndice xifoides, en una muestra de 980 sujetos (772 hombres y 208 mujeres). Sus resultados no ofrecieron grandes esperanzas sobre el método propuesto ya que el autor concluye que la enorme variación encontrada a cerca de la fusión en las tres piezas del esternón impide establecer un patrón de fusión que sea fiable y preciso (Jit y Bakshi, 1986).

En 1994, Singh et alii, publicaron un estudio basado en el tiempo de fusión del manubrio y el apéndice xifoides con el cuerpo del esternón y lo relacionaron con la edad de los sujetos que emplearon para su trabajo. La muestra de estudio se compuso por 524 hombres y 228 mujeres, provenientes de autopsias médico-legales, con edades comprendidas entre los 5 y los 85 años, pertenecientes a la población india (Singh et alii, 1994).

Las conclusiones de su trabajo no fueron muy esperanzadoras en cuanto al método propuesto ya que la fusión manubrioesternal se empezó a apreciar entre los 10 y los 14 años en hombres y entre los 15 y los 17 en mujeres, y los primeros signos de fusión completa se observaban entre los 21 y 25 años en ambos sexos. Además, fue muy característico el hecho de que el porcentaje de individuos que presentaban la fusión completa entre el manubrio y el cuerpo del esternón no aumentaba mucho con el avance de la edad. Por su parte, los resultados obtenidos para la fusión xifoesternal fueron parecidos. El inicio del proceso de fusión comenzaba entre los 18 y los 20 años, y la fusión completa era apreciable entre los 21 y los 25 años, en ambos sexos. En este caso el porcentaje de individuos que presentaban una fusión completa entre el apéndice xifoides y el cuerpo del esternón sí aumentaba a medida que también lo hacía la edad de los sujetos de estudio. Sin embargo, los autores concluyeron que ninguno de los dos eran buenos parámetros para el estudio de la edad en casos de interés forense, ya que sólo se podría asegurar que todos los individuos que tuvieran un indicio de fusión serían mayores de 18 o 20 años.

En 2003, Gautam y colaboradores, desarrollaron un trabajo en el que utilizaban el esternón como un indicador de sexo y edad, aplicable a casos de interés forense. Para el

estudio de la edad valoraron el tiempo de fusión de los tres elementos del esternón en una muestra de 100 esternones obtenidos en autopsias en el Instituto de Medicina Legal de Ahmed abad, India. Los individuos que fueron seleccionados para el estudio fueron los que se encontraban en buenas condiciones, sin fracturas o deformaciones, que tuvieran edades superiores a los 15 años. Sobre los 100 esternones se valoró el estado de fusión de las uniones manubrioesternal y xifoesternal, basándose en tres estados diferentes de sinostosis: completa, parcial o ausente.

Los resultados fueron comparados con los de estudios anteriores y se obtuvieron unos resultados similares. Se encontró que la fusión de las tres partes del esternón no presentaba ningún tipo de relación con el sexo. Sin embargo, con la edad sí se encontró correlación, obteniéndose que la fusión manubrioesternal se empezaba a producir a partir de los 40 años, siendo completa a partir de los 50 años, mientras que la unión xifoesternal comenzaba su proceso de fusión a los 30 años y, al igual que la unión manubrioesternal, era completa a partir de los 50 años. Los autores, no obstante, recomiendan mucha precaución en aplicación en casos de interés forense debido a la poca precisión de los resultados (Gautam *et alii.*, 2003).

En 2009, Wadhawan y colaboradores, desarrollaron otro estudio con el fin de relacionar el momento de fusión de las uniones manubrioesternal y xifoesternal con la edad, en una muestra de individuos de población india (Wadhawan *et alii.*, 2009). La muestra estuvo compuesta por 100 sujetos mayores de 18 años (50 hombres y 50 mujeres) procedentes del Departamento de Medicina Forense de Delhi.

Los resultados mostraron que la edad media a la que comenzaba la fusión en la unión manubrioesternal era 42.6 ± 4.33 años en hombres y 42.12 ± 3.27 en mujeres, mientras que la edad media a la que se observaba la fusión completa era 65.81 ± 10.68 años en hombres y 58.36 ± 5 en mujeres. Por su parte, la unión xifoesternal comenzaba a fusionarse a una edad media de 35.12 ± 0.64 años en hombres y 35.83 ± 1.47 en mujeres, y la fusión completa aparecía a los 58 ± 12.48 años en hombres y 53.10 ± 7.27 años en mujeres.

Otro trabajo que fue desarrollado para la estimación de la edad forense a través de la sinostosis de las piezas del esternón fue el que desarrollaron Garg y colaboradores, en 2011. Los autores estudiaron el proceso de fusión de la unión del apéndice xifoides y el cuerpo del esternón en radiografías de individuos vivos con el fin de establecer un

patrón de fusión. Su muestra de estudio estuvo compuesta por radiografías de 192 sujetos de ambos sexos, con edades comprendidas entre los 35 y los 65 años, procedentes del hospital de Patiala, India (Garg *et alii.*, 2011).

Los resultados del estudio demostraron que había un 28.57% de varones que habían completado la fusión xifoesternal entre los 35 y 40 años, mientras que en el mismo rango de edad, las mujeres alcanzaban el 50%. Además, entre los 46 y los 60 años, se comprobó que los porcentajes aumentaban, obteniéndose una fusión completa en el 65.28% de los hombres y en el 100% de las mujeres. Los autores concluyeron por tanto que la edad más temprana a la que aparecía la sinostosis completa eran los 35 y 36 años, mientras que la edad más tardía eran los 56 y 59 años, en mujeres y varones, respectivamente. Con estos resultados los autores recomiendan mucha precaución a la hora de utilizar este método para estimación de la edad forense.

En 2012, Chandrakanth y colaboradores, realizaron estudio sobre población india con el objetivo de desarrollar un método para la estimación de la edad en sujetos adultos a través de la fusión de las diferentes partes del esternón (Chandrakanth *et alii.*, 2012). La muestra de estudio estuvo constituida por 118 esternones procedentes de autopsias, de los cuales 67 eran hombres y 51 eran mujeres, con edades comprendidas entre los 20 y los 80 años. Sobre ellos se estudió el tiempo de fusión del manubrio y el apéndice xifoides al cuerpo del esternón.

Los resultados concluyeron que las tres partes del esternón se fusionaban a medida que aumentaba la edad de los individuos de estudio, siendo mayor la proporción de esternones en los que se apreciaba la fusión entre el cuerpo del esternón y el apéndice xifoides que la fusión del cuerpo con el manubrio. Además se encontraron diferencias significativas en cuanto al sexo de los individuos ya que los dos tipos de fusión se producían en mayor proporción en sujetos varones que en mujeres. No se encontraron indicios de fusión en ningún sujeto menor de 30 años. La fusión entre el cuerpo y el apéndice xifoides no fue observada en individuos menores de 46 años, en mujeres, y 48 años, en hombres. En el caso de la fusión entre el manubrio y el cuerpo se observó en sujetos con edades muy dispares, por lo que los autores determinaron que se trataba de una región muy variable. La conclusión final fue que las regiones de fusión presentaban un tiempo de unión muy variable y que por tanto no eran indicadores fiables para el estudio de la edad forense en sujetos adultos.

En 2013, Kaneriya y colaboradores, valoraron el estado de fusión de los tres elementos del esternón en una muestra de 50 esternones (25 hombres y 25 mujeres) procedentes de individuos de población india que fueron autopsiados en el Departamento de Medicina Forense de Surat, India. En las dos regiones de estudio, uniones manubrioesternal y xifoesternal, se analizó el grado de fusión basándose en tres estadios: fusión ausente, fusión parcial y fusión completa (Kaneriya *et alii.*, 2013).

Los resultados mostraron que la fusión entre las esternebras se produce durante la pubertad, ya que a partir de los 25 años se encuentran fusionadas en todos los individuos. En cuanto a la fusión de las tres partes del esternón, se determinó que la unión xifoesternal es más precoz que la manubrioesternal, empezando la fusión en la primera a partir de los 30 años y en la segunda a los 40 años. La fusión completa, por su parte, no se observa hasta los 45 años en la región xifoesternal, y hasta los 55 en la región manubrioesternal. Los autores concluyen que este puede ser un método de ayuda para casos en los que sea necesario el estudio de la edad.

También en 2013, Singh y colaboradores, publicaron un estudio sobre la estimación de la edad en el esternón a través de la observación de varias características morfológicas: presencia de foramen mesoesternal, proyecciones laterales del manubrio, incisuras costales, muesca yugular, morfología del apéndice xifoides, fusión manubrioesternal y fusión xifoesternal (Singh *et alii.*, 2013).

Los resultados mostraron tiempos de fusión muy variables para las tres partes del esternón por lo que no sería un método muy preciso para la estimación de la edad forense. Sin embargo, si se encontraron relaciones entre otros caracteres y la edad, aunque los autores recomiendan seguir avanzando en su estudio.

Por último, también en 2013, se realizó un estudio en población española basado en la relación entre la densidad de gris y el aumento de la edad, en una muestra de 98 radiografías de esternones, procedentes de la colección de individuos identificados de La Escuela de Medicina Legal y Forense de Madrid (Benito y Sánchez, 2013). Sobre las radiografías, se midió la pérdida de materia ósea en el manubrio y el cuerpo del esternón, a través de las variaciones de gris detectadas en un área determinada. Los resultados mostraron que no existe una buena correlación entre la edad y las variaciones de gris medidas en el esternón. Los autores sugieren que la calidad de las imágenes

radiográficas así como el software utilizado para la toma de medidas no eran suficientemente precisos para poder detectar variaciones tan pequeñas de gris.

7. ESTUDIOS RELATIVOS A LA FUSIÓN DE LOS CARTÍLAGOS METAFISARIOS Y SU APLICACIÓN A LA ESTIMACIÓN DE LA EDAD EN SUJETOS VIVOS.

7.1 ESTUDIOS RELATIVOS A LA FUSIÓN DE LA EPÍFISIS ESTERNAL DE LA CLAVÍCULA.

El cierre del cartílago metafisario de la epífisis esternal de la clavícula ha sido estudiado por muchos autores debido a que es el hueso largo que termina más tarde su periodo de maduración. Esto le ha conferido a la clavícula un interés especial para la estimación de la edad en sujetos subadultos. Las técnicas que se han utilizado para su estudio van desde métodos osteológicos, basados en la observación macroscópica o en medidas antropométricas, hasta técnicas radiológicas clásicas y, en los últimos años, técnicas de análisis radiográfico digital de imágenes bi y tridimensionales como la Tomografía axial Computerizada (TAC), técnicas de radiofrecuencia como la resonancia magnética (TRM) o, técnicas ultrasonográficas (US).

Los primeros estudios que se conocen sobre el proceso de fusión del cartílago metafisario a nivel de la extremidad esternal de la clavícula aparecen en libros de medicina escritos entre finales del siglo XIX y principios del siglo XX. Aunque todos los autores describen si la fusión se había completado o no, y relacionan este patrón con la edad, ninguno de ellos hace referencia a la procedencia de la muestra de estudio ni a la metodología aplicada para la obtención de los resultados. A pesar de la carencia de información sobre la muestra estudiada, la mayoría de los autores establecen la edad de fusión completa de epífisis y diáfisis entre los 18 y los 25 años (Henle, 1872), (Dwight, 1890), (Krause, 1909), (Bryce, 1911), (Poirier, 1911), (Dixon, 1912), (Testut, 1921), (Thompson, 1937), (Terry, 1942).

A pesar de los conocimientos descritos en la literatura médica, no se habían realizado investigaciones formales sobre dicho tema. Uno de los primeros trabajos que se realizó para el estudio de la fusión de la epífisis esternal de la clavícula fue el de Stevenson (Stevenson, 1924). Esta investigación estaba basada en la osificación general de las epífisis de los huesos largos, entre ellos, la clavícula. El estudio se realizó sobre una muestra de 110 individuos, de ambos sexos, de la Colección del Laboratorio de Anatomía del Museo Hamman (Universidad de Cleveland, Ohio, USA), compuesta por 39 individuos de origen caucasoide y 51 individuos de origen negroide, de entre 15 y 28 años de edad.

Sobre esta muestra se observó el tiempo de cierre epifisario teniendo en cuenta 4 estadios de fusión: estadio 1, en el que no se observa unión entre epífisis y diáfisis; estadio 2, cuando se observa un estado de unión parcial; estadio 3, inmediatamente después de la fusión, cuando aún persiste una fina línea de unión entre la epífisis y la diáfisis; y estadio 4, cuando se parecía un estado de unión completa, en el que puede persistir la llamada “cicatriz epifisaria”. El propio autor recomienda tener cuidado para no confundir un estadio 3 con un estadio 4 por confundir la línea de fusión con la “cicatriz epifisaria”.

Stevenson, al contrario que sus predecesores, segmentó la muestra en diferentes grupos etarios y asignó a cada uno de ellos un estadio de fusión. Además, hizo hincapié en que los estadios analizados no eran demasiado precisos, ya que las diferencias entre ellos eran poco significativas. Sugirió que, probablemente, habría que agrupar los estadios 1 y 2 como subdivisiones dentro de una misma fase, al igual que los estadios 3 y 4. El único hueso en el que describió una maduración lenta y por tanto se podrían aplicar los cuatro estadios de fusión epifisaria fue la clavícula.

Para la clavícula, los resultados de este estudio muestran que no hay signos de fusión antes de los 22 años (estadio 1), una fusión parcial de ambas partes entre los 22 y los 24 años (estadio 2), una fusión casi completa entre los 24 y los 26 años (estadio 3), y una fusión completa entre los 24 y 28 años (estadio 4).

El trabajo de Stevenson fue el primero en validar científicamente las estimaciones de edad, a nivel la fusión epifisaria del tercio medial de la clavícula, utilizando la metodología científica. Asimismo, fue el primero en asignar 4 fases o estadios para describir el proceso de cierre de los cartílagos metafisarios. No obstante, el método también presentaba sus limitaciones ya que la muestra de estudio no era homogénea en todos los grupos de edad, siendo escasos los individuos de edades más bajas, lo que cuestionaba los resultados obtenidos. A este problema se añadió otro posteriormente cuando se averiguó que los registros de edad de la muestra de estudio no eran fiables, ya que el sistema de registro municipal de nacimientos de la época tampoco lo era. Por estas razones este trabajo fue seriamente criticado por algunos autores (Webb y Suchey, 1985), (Todd y D’Errico, 1928), (Flecker, 1942).

Cuatro años más tarde, Todd y D’Errico realizaron otra investigación sobre la misma colección anterior en la estudiaron 165 individuos adultos, de ambos sexos y de origen

caucasoide y negroide, junto con 700 restos óseos de mamíferos infantojuveniles y 800 radiografías de sujetos subadultos humanos (Todd y D'Errico, 1928). Los autores describieron que el proceso de fusión de la epífisis esternal de la clavícula comenzaba entre los 20 y 22 años, y culminaba en torno a los 25 años de edad. Además, no encontraron diferencias significativas entre individuos de diferentes orígenes geográficos, ni entre individuos de diferentes sexos.

En cuanto a la comparación entre especies de mamíferos, los autores, observaron que mientras que la epífisis de la extremidad acromial se fusionaba más tarde en humanos, la epífisis de la extremidad esternal lo hacía más o menos al mismo tiempo en todas las especies de mamíferos estudiados.

En 1931, Sidhom y Derry, realizaron un estudio sobre radiografías de población egipcia en el que valoraron el cierre y fusión epifisaria de la extremidad esternal de la clavícula. Tras su estudio fueron capaces de diferenciar tres fases o estadios de maduración: fase 1, en la que se podía apreciar una capa de cartílago entre la epífisis y la diáfisis; fase 2, en la que se apreciaría la fusión parcial de ambas partes, epífisis y diáfisis; y fase 3, en la que desaparecía la capa de hueso en la zona de crecimiento. Además, los mismos autores hacen referencia, también, a la denominada “cicatriz epifisaria” como un residuo del proceso de fusión que podría mantenerse hasta edades muy avanzadas y no debía confundirse con un estado de fusión parcial (Sidhom y Derry, 1931).

Posteriormente, Flecker realizó dos estudios en los que observaba la fusión epifisaria sobre placas radiográficas de varios huesos largos, pertenecientes a sujetos de población australiana que habían sido pacientes del Hospital Prince Henry de Melbourne (Flecker, 1933), (Flecker, 1942). Analizó la fusión epifisaria de los huesos largos del cuerpo humano y comparó sus resultados con los obtenidos por otros autores previamente. La muestra estudiada constaba radiografías completas, de 50 fetos a término, en los que se analizó el estado de maduración ósea en todos los huesos largos. Además, la muestra incluía 601 clavículas de individuos de entre 11 y 26 años.

En cuanto a la clavícula, Flecker analizó exclusivamente la capacidad de identificar la presencia o ausencia de la epífisis esternal. No incluye en su estudio datos relativos a los estadios de cierre metafisario. Para la realización de su estudio, el autor segmenta la muestra en cuanto a sexos y en diferentes grupos etarios, y calcula los porcentajes de epífisis identificadas con respecto al total de la muestra en cada grupo de edad. Sus

conclusiones indican la facilidad de identificación de la epífisis cuando ésta aparece separada de la diáfisis o parcialmente fusionada, ya que se consiguió identificar en un 65% de los casos de cada grupo etario, y la dificultad para la detección de la misma en casos donde la epífisis aún no se ha desarrollado o ya ha completado su etapa de fusión.

En cuanto a las edades de aparición de la epífisis medial, indica que la edad más temprana a la que se detecta fue a los 11 años, tanto en mujeres como en hombres. Por su parte, el caso más tardío en el que se detectó la epífisis esternal fue a los 25 años, igualmente, en ambos sexos. En los grupos intermedios fue fácilmente identificable en un 65 % de los individuos de cada grupo etario, siendo imposible su detección en el 35% restante. Estos resultados son explicados, según el autor, por la calidad de las radiografías, la irregularidad de la extremidad esternal de la clavícula y el solapamiento de otras regiones anatómicas en la cavidad torácica.

En 1937, Galstaun realizó otro estudio sobre el patrón de crecimiento y fusión de varias epífisis de huesos largos en una muestra de 655 radiografías de individuos, de diferentes clases sociales, de entre 12 y 25 años de edad, procedentes de Calcuta, India. En relación a la epífisis esternal de la clavícula, el autor sólo identificó la aparición de la misma y la fusión completa de ésta con la diáfisis, pero no incluyó los estadios intermedios de fusión parcial.

Sus conclusiones indican una maduración más temprana en mujeres que en varones en todos los huesos que se estudiaron, incluida la clavícula. Observó que la epífisis no fusionada era visible en mujeres entre los 14 y los 16 años y en hombres entre los 15 y 19 años de edad y, que la fusión completa se pospondría hasta los 20 años en mujeres y los 22 años en hombres.

Además, el autor destacó la dificultad que entraña la localización de la epífisis esternal de la clavícula en las placas radiográficas y sugirió la realización de las mismas con el sujeto ligeramente inclinado, con el fin de estandarizar las imágenes y mejorar la detección de la extremidad esternal de la clavícula (Galstaun, 1937). También hizo referencia a otra dificultad observada anteriormente por otros autores: la presencia de la “cicatriz epifisaria” que podría confundirse con algunas fases de fusión parcial entre la epífisis y la diáfisis claviclar.

Tras la realización de su estudio, el autor comparó sus resultados con los de otros autores anteriores (Sidhom y Derry, 1931), (Flecker, 1933) y encontró que la fusión de la epífisis esternal de la clavícula seguía una maduración más adelantada en su muestra de estudio que en las que usaron los autores anteriormente citados. Galstaun explicó estas diferencias basándose en el origen geográfico de los individuos que componían las diferentes muestras de estudio.

Unos años después, en 1976, otros autores procedentes de Punjab, India, realizaron un estudio sobre placas radiográficas, realizadas en posición anteroposterior de una muestra de individuos de origen indio en las que se analizó el proceso de fusión de la epífisis esternal de la clavícula (Jit y Kulkarny, 1976). Se seleccionaron para el estudio 684 individuos, de los que 293 eran mujeres y 391 eran hombres, comprendidos entre los 11 y los 30 años de edad. En los casos en los que las radiografías anteroposteriores no permitían la detección de la extremidad esternal de la clavícula se realizaron también radiografías oblicuas de tórax, según habían recomendado otros autores previamente (Galstaun, 1937).

Para el análisis de las placas radiográficas se establecieron 4 estadios: estadio 0, en el que no se observaba la epífisis esternal; estadio 1, en el que se apreciaba la epífisis esternal pero no estaba fusionada; estadio 2, cuando la epífisis y diáfisis se encontraban parcialmente fusionadas; y estadio 3, cuando se observaba la fusión completa de ambas partes.

Tras la obtención de los resultados, los autores concluyeron que: el estadio 1 se correspondía siempre a sujetos mayores de 11 años en mujeres y de 14 en hombres, y menores de 22 años en ambos sexos. Para el estadio 2 observaron una edad estimada de entre 18 y 24 años tanto en mujeres como en hombres. Por último, el estadio 3 estaría relacionado con sujetos mayores de 22 años en ambos casos.

Además de estudio radiográfico, los mismos autores intentaron relacionar sus hallazgos con una serie de 52 casos de individuos fallecidos a los que se pudieron extraer las clavículas, 39 hombres y 13 mujeres, para relacionar la morfología de la extremidad esternal con los resultados observados en las imágenes radiográficas. Gracias a estos resultados pudieron concluir la dificultad que entraña diferenciar, en radiografías, las fases en que aún no se ha formado la epífisis de las que presentan la fusión completa.

Esta dificultad no era tan grande cuando, en vez de a través del estudio radiográfico, se realiza la estimación de edad basándose en métodos osteológicos.

En 1977, Szilvassy emprendió un trabajo sobre la fusión de la extremidad distal de la clavícula en el que no utilizó placas radiográficas como sus antecesores, sino que analizó una muestra de clavículas, extraídas de cadáveres autopsiados, a través del estudio osteológico (Szilvassy, 1977). Su muestra estaba constituida por 140 clavículas pertenecientes a 70 individuos autopsiados de entre 18 y 30 años de edad, de ambos sexos. Gracias al estudio osteológico, el autor estudió la morfología de la epífisis distal de la clavícula y describió tres grados de fusión: grado 1, en el que se apreciaba una superficie irregular de la carilla articular, con un reborde ondulado; grado 2, en el que la epífisis y la diáfisis ya habían comenzado a unirse aunque los contornos de ambas partes aún eran reconocibles; y grado 3, cuando la fusión se había completado totalmente y la superficie de articulación era bastante regular.

Sus conclusiones, aunque no se establecen resultados muy exactos, indicaron que tanto en mujeres como en hombres, el grado 1 se correspondería con un intervalo de edad de 18 a 20 años, el grado 2 de 21 a 25 años y el grado 3 de 26 a 30 años de edad.

En 1985, en Los Ángeles, California, se realizó otra investigación con el fin de averiguar el patrón de cierre epifisario de la extremidad distal de la clavícula y la cresta ilíaca (Owings y Suchey, 1985). La muestra de estudio se obtuvo de 830 individuos, 205 mujeres y 625 hombres, de diferentes orígenes geográficos, que fueron autopsiados entre 1977 y 1979.

Sobre esta muestra se realizó un estudio osteológico de la extremidad distal de las clavículas, derechas e izquierdas, en el que se obtuvo un patrón de cierre epifisario basado en cuatro fases: fase 1, en la que no se observaba la epífisis distal; fase 2, en la que sí se encontraba presente la epífisis aunque no presentaba signos de fusión; fase 3, en la que se evidenciaba la fusión parcial de epífisis y diáfisis; y fase 4, donde la fusión entre ambas partes era completa.

Los resultados concluyeron que la fase 1 no aparecía antes de los 11 años en ambos sexos y que esta fase podría prolongarse hasta los 25 años en hombres y 23 en mujeres. La fase 2, por su parte, seguía un patrón homogéneo en ambos sexos, relacionándose con un intervalo etario de entre 16 y 21 años en mujeres y hombres. En la fase 3 ya se

empieza a observar una maduración más precoz en mujeres donde el intervalo etario observado fue de entre 16 a 33 años, siendo en hombres de entre 17 a 30 años. Por último, se observó que la fase 4 en sujetos de entre 21 y 40 años en hombres y entre 20 y 39 años en mujeres. Este último rango fue muy amplio, por lo que las autoras establecieron la correspondencia de que si un individuo se encontraba en la fase 4 de su desarrollo se relacionaría con un sujeto mayor de 21 años si era de sexo masculino y mayor de 20 años si fuera de sexo femenino.

En Lisboa, Portugal, en 1990, Mac Laughlin publicó una investigación sobre el patrón de cierre de la epífisis proximal de la clavícula sobre una muestra de 32 individuos, 12 mujeres y 20 hombres, del Museo Bocage de Lisboa, con edades comprendidas entre los 11 y 39 años de edad (Mac Laughlin, 1990).

El autor describió la fusión de la epífisis en 5 estadios, uno más que los autores que anteriormente habían realizado estudios similares. Estadio 1, en el que se apreciaba un reborde ondulado y estriado en la superficie articular de la extremidad esternal; estadio 2, en el que se va perdiendo la nitidez del reborde ondulado y la estriación y comienza a rellenarse la superficie epifisaria; estadio 3, en el que tanto el reborde ondulado como la estriación han desaparecido casi por completo y se ha fusionado el núcleo de la epífisis; estadio 4, en el que se aprecian la fusión parcial de la epífisis y la diáfisis (se observa una línea en la zona de fusión); y estadio 5, cuando la fusión entre ambas partes es completa.

La autora reconoció no haber segmentado la muestra en función del sexo por la escasez de la misma. Además, concluyó que el reborde ondulado, típico de la zona de crecimiento óseo, se observaba claramente hasta los 15 años, que los primeros signos de fusión parcial se observaban a partir de los 20 años y, que la fusión completa no era reconocible hasta los 29 años.

En 1994, un grupo de investigadores japoneses (Jit *et alii.*, 1994), desarrollaron un estudio para la estimación de la edad basado en la fusión de la extremidad esternal de la clavícula. En el trabajo estudiaron una muestra de 54 clavículas derechas, pertenecientes a 31 hombres y 23 mujeres, de entre 13 y 31 años de edad, extraídas de autopsias, de individuos de origen japonés que habían fallecido entre los años 1982 y 1992. Para su análisis utilizaron cinco fases o estadios de maduración: estadio 0, cuando no hay ninguna unión entre la epífisis esternal y la diáfisis; estadio 1, se considera la fase

intermedia entre el estadio 0 y el 2; estadio 2, cuando se encuentra unida la epífisis esternal tan sólo al 50%; estadio 3, la fase intermedia entre los estadios 2 y 4; y el estadio 4, donde se aprecia una unión completa de la epífisis y la diáfisis.

Los resultados concluyeron que los individuos que se encontraran en el estadio 1 se asociarían con personas menores de 21 años en caso de hombres y menores de 16 en caso de mujeres. Asimismo, a los que se encontrasen en un estadio 5 se les asignaría una edad mayor de 20 años en hombres y mayor de 21 en mujeres.

Black y Scheuer, en 1996, realizaron un estudio sobre el proceso de unión epifisaria de la extremidad esternal de la clavícula, así como la relación entre la longitud de la misma y la edad en el periodo prepuberal. El estudio se desarrolló sobre una muestra de 143 clavículas, pertenecientes a 82 hombres y 61 mujeres, de la Colección Spitafields, de esqueletos identificados, del Museo de Historia Natural de Londres, datados entre los siglos XVIII y XIX (Black y Scheuer, 1996).

Los resultados concluyen que durante la fase prepuberal (hasta los 16 años) la longitud de la clavícula es un indicador fiable para la estimación de la edad, pero que superada esta etapa sería más conveniente basarse en los patrones de cierre epifisario de la extremidad esternal de la clavícula.

Entre los años 1997 y 1998, Kreitner y sus colaboradores llevaron a cabo los primeros estudios para la estimación de la edad a través del uso de nuevas técnicas basadas en el estudio de imágenes utilizando Tomografía Axial Computerizada (TAC) (Kreitner *et alii.*, 1997), (Kreitner *et alii.*, 1998). Este fue el inicio de un nuevo camino dentro del campo de la estimación de la edad en Antropología Forense.

El primer trabajo que realizaron estuvo basado en el estudio de la maduración de la epífisis esternal de la clavícula. La muestra de estudio estuvo compuesta por 297 individuos de población alemana, 110 mujeres y 169 hombres, de edades comprendidas entre los 0 y 30 años de edad. Para analizar las imágenes de TAC se basaron en la fusión epifisaria, descrita por Webb y Suchey en 1985, que describía cuatro estadios de unión: estadio 1, en el que no aparecían signos de fusión; estadio 2, donde se apreciaba la epífisis osificada pero no unida; estadio 3, donde se observaba la fusión parcial de la diáfisis y epífisis claviclar; y estadio 4, que correspondería a la fusión completa de ambas partes.

Posteriormente, los mismos autores, realizaron otro estudio basándose en la misma metodología anterior, sobre una muestra de 380 individuos, también de origen alemán, 151 mujeres y 229 hombres, de entre 0 y 29 años (Kreitner *et alii.*, 1998).

Los resultados concluyeron que no existían diferencias significativas entre hombres y mujeres, y tampoco en el caso de clavículas derechas e izquierdas. Además se estableció, según los análisis estadísticos realizados, que la edad de fusión completa (estadio 4) en todos los casos era a partir de los 22 años de edad con un valor de confianza del 95%.

En 2002, Veschi y Facchini, realizaron un estudio osteológico para valorar el desarrollo y maduración de las epífisis de algunos huesos largos, de una población italiana, entre los que incluían la epífisis esternal de la clavícula (Veschi y Facchini, 2002). La muestra de estudio, proveniente del Museo de Antropología de la Universidad de Bolonia, Italia, estuvo dividida en dos partes: 121 esqueletos, 64 hombres y 57 mujeres de entre 0 y 8 años; y 132 individuos, 62 hombres y 70 mujeres, de entre 14 y 25 años.

Sobre las epífisis estudiadas aplicaron un criterio de maduración basado en tres fases: ausencia de fusión, fusión parcial y fusión completa. Los resultados obtenidos para la unión de la epífisis esternal de la clavícula muestran que la fusión completa de ambas partes se producía entre los 19 y 25 años de edad, en ambos sexos.

En el año 2004, se desarrolló otro estudio sobre población alemana, dirigido por Schmeling en el que se estudió el patrón de maduración de la epífisis esternal de la clavícula, en radiografías convencionales anteroposteriores de tórax (Schmeling *et alii.*, 2004). La muestra de estudio estuvo constituida por 699 radiografías de individuos de edades entre 16 y 30 años, 456 mujeres y 243 hombres. Para el análisis de las radiografías utilizaron la metodología de fusión epifisaria establecida por Webb y Suchey en 1985 y posteriormente usada por Kreitner en 1998.

Los resultados obtenidos mostraron que la fusión completa en epífisis y diáfisis se observaba a partir de los 20 años en mujeres y 21 años en hombres. Además recomendaban el uso de radiografías anteroposteriores y laterales de tórax para evitar equivocaciones, ya que los mismos autores reconocen haber tenido que descartar un porcentaje alto de individuos debido a la dificultad para detectar correctamente la extremidad esternal de la clavícula. Asimismo, al no encontrar diferencias entre lados,

los autores sugieren que en caso de discrepancia se utilicen los datos del lado que se encuentre en un estado menor de desarrollo.

La inclusión de las imágenes por TAC aportó tan buenos resultados que varios autores decidieron emprender nuevas investigaciones utilizando esta técnica. De esta manera, Schulz y colaboradores, en 2005, publicaron un trabajo en el que estudiaron el cierre metafisario en la extremidad esternal de la clavícula. La muestra de estudio estuvo compuesta por 629 individuos de entre 15 y 30 años originarios de la población alemana (Schulz *et alii.*, 2005). El análisis de las imágenes por TAC estuvo basado en el sistema de estadios propuesto por Schmeling *et alii* en 2004, que a su vez estaba basado en el patrón de maduración de Kreitner, en 1998, y Webb y Suchey, en 1985.

Los resultados muestran que sólo existen variaciones entre lados en un 10% de la muestra por lo que los autores consideran que no existen diferencias significativas. Además, tampoco se observan diferencias debidas al sexo, a excepción del estadio 2 donde se aprecia un ligero adelanto en la maduración a favor del sexo femenino. Finalmente, en el estadio 4, que determina el estado de fusión completa, se estableció una edad mínima de unión total a los 21 años de edad, en ambos sexos.

Posteriormente, los mismos autores (Schulz *et alii.*, 2005), realizaron otro estudio a través de imágenes obtenidas por TAC sobre una muestra de 100 individuos, 50 hombres y 50 mujeres, de entre 16 y 25 años. Los estudios realizados sobre estos individuos estuvieron sometidos a cortes tomográficos de diferentes milímetros con el fin de definir el grosor ideal del corte para que la definición de la imagen en la epífisis esternal de clavícula fuera la correcta. Para la valoración del estado de fusión de la epífisis esternal se utilizaron los criterios de unión establecidos por Kreitner *et alii*, en 1997.

Los resultados fueron validados por tres investigadores, que concluyeron que no se encontraba correlación entre el grosor del corte tomográfico y la definición de la imagen para la valoración del estado de fusión. Además no se encontraron diferencias significativas entre el lado derecho e izquierdo. Por último, se detectó que, en concordancia con los estudios anteriores, la edad de fusión completa (estadio 4) eran 21 años, para ambos sexos, con una probabilidad del 95%.

En el mismo año, Richel, realizó un estudio, sobre la estimación de la edad forense a través del análisis la fusión de la epífisis esternal de la clavícula así como del estudio de ortopantomografías, utilizando para ello imágenes de TAC (Richel, 2005). La muestra de estudio fueron 100 individuos de edades comprendidas entre los 16 y los 26 años, que fueron analizadas basándose en el protocolo de fusión propuesto por Kreitner et alii, y que posteriormente fueron validados por otros dos investigadores. Los resultados obtenidos muestran una fusión completa de la clavícula a partir de los 20 años de edad, sin diferencias significativas entre lados.

Otro estudio también fue desarrollado en una población de Bosnia en el año 2005, (Schaefer y Black, 2005). La muestra estuvo constituida por 114 varones de entre 17 y 30 años de edad que fallecieron durante la guerra en Bosnia en 1995. En este trabajo se realizó un análisis osteológico del estado de fusión de la epífisis esternal de la clavícula. Los resultados muestran que el comienzo de la fusión epifisaria se producía después de los 17 años en todos los casos y la fusión era completa en todos los individuos a partir de los 29 años.

Las conclusiones de la investigación apuntan a una madurez más precoz en la población de Bosnia frente a otras poblaciones (Kreitner *et alii.*, 1998) que fue justificada por diferencias genéticas entre poblaciones.

En el año 2006, Mühler y colaboradores, publicaron un estudio en el que analizaban 40 TAC de individuos, 38 hombres y 2 mujeres, que habían sido pacientes del Hospital Charité de Berlín, Alemania. Para el estudio realizaron cortes de tomografía de 1 milímetro de grosor, y posteriormente se reconstruyeron, con las mismas imágenes, cortes teóricos de 3, 5 y 7 milímetros de grosor, con el fin de comparar la calidad de las imágenes para el diagnóstico de la edad (Mühler *et alii.*, 2006).

El análisis de la fusión de la epífisis esternal de clavícula, basado en los criterios de fusión propuestos por Schmeling, en 2004, determinó que el grosor del corte tomográfico sí tenía influencia en la buena detección de la epífisis esternal de la clavícula y por tanto era determinante para el diagnóstico de la edad. Los autores, recomendaron el uso del grosor de 1 milímetro para evitar que los cortes demasiado gruesos pudieran dificultar las regiones de estudio.

En el año 2007, los mismos autores volvieron a publicar otro estudio sobre población bosnia en el que ampliaban la muestra a 258 individuos varones de entre 14 y 30 años de edad, que procedían también de la guerra de Bosnia de 1995 (Schaefer y Black, 2007). En esta nueva muestra de estudio aplicaron las tres fases de fusión epifisaria sobre 21 regiones anatómicas. Los resultados apuntaron que la epífisis esternal de la clavícula era la más tardía en completar su proceso de maduración, encontrándose la ausencia de fusión como muy tarde a los 23 años, la fusión parcial entre los 17 y los 29 años y la fusión completa a los 21 años, en el caso más precoz.

En enero de 2008, se publicó un estudio novedoso llevado a cabo por investigadores alemanes (Schulz *et alii.*, 2008) que incorpora la ecografía, como técnica no invasiva, para el estudio del cierre epifisario. En este trabajo se intentó clasificar la fusión epifisaria utilizando imágenes ecográficas y basándose en los estadios de maduración para la epífisis esternal de la clavícula propuestos por Webb y Suchey. La muestra de estudio consistió 84 imágenes ecográficas de clavículas derechas de 84 individuos con edades entre los 12 y los 30 años, pertenecientes a la población alemana.

Los resultados demostraron que la clasificación y detección de la epífisis esternal era posible en 80 de los individuos estudiados. Además se observó que la edad más temprana a la que aparecían signos de osificación eran los 17.1 años para la fase 2, 16.7 para la fase 3 y, 22.5 para la fase 4. Estos resultados estuvieron en consonancia con los obtenidos en estudios previos que fueron realizados con radiografías y tomografía computerizada por lo que fueron muy esperanzadores ya que la ecografía es una técnica que no implica radiación. No obstante, los autores recomendaron la evaluación del mismo método por otros investigadores así como en otras poblaciones.

En 2009, se desarrolló otro estudio basado en técnicas ecográficas para el establecimiento del patrón de cierre epifisario en la extremidad medial de la clavícula con el fin de determinar la fiabilidad del diagnóstico de la edad en casos forenses en los que sea necesario establecer si un sujeto es mayor o menor de 21 años (Quirnbach, 2009). La muestra de estudio consistía en 77 individuos de sexo varón y de origen caucásico, con edades comprendidas entre los 18 y los 24 años, que se prestaron voluntariamente para la toma de imágenes ecográficas. Para la evaluación del estado de fusión se utilizó el sistema propuesto por Schulz que establece cuatro fases de osificación.

Los resultados concluyeron que la fase 4 en la que se observaba la fusión completa de la epífisis esternal aparecía bilateralmente en un 60% de los sujetos mayores de 21 años y sólo en un lado en un 12%. En cuanto a los sujetos menores de 21 años, la fase 4 fue encontrada bilateralmente en el 8.5% de la muestra estudiada. Los autores destacan la limitación de la técnica ya que, según ellos, el poder de discriminación no es suficiente para ser usada en casos de interés forense. Sugieren que el transductor del equipo de ultrasonido no puede alcanzar la misma precisión que la tomografía computerizada y por tanto recomiendan comparar los resultados entre ambas técnicas.

En el año 2011, se publicó un estudio que fue llevado a cabo por investigadores alemanes (Kellinghaus *et alii.*, 2011) cuyo objetivo fue evaluar el tiempo de fusión de la epífisis esternal de la clavícula a través de imágenes de tomografías computerizada así como establecer un grosor mínimo de corte tomográfico con el que trabajar que fuese aplicable en casos de estimación de edad. La muestra objeto de estudio fueron 592 personas con edades comprendidas entre los 10 y los 35 años del Hospital de la Universidad de Münster.

Los resultados mostraron que en 502 de los casos fue posible establecer el grado de fusión de la epífisis esternal de la clavícula, según los estadios propuestos por Schmeling *et alii* en 2004. Al comparar los resultados con los de los autores anteriormente citados encontraron que la diferencia más grande se observaba en el estadio 5, donde la fusión completa se establecía a los 26 años, en ambos sexos, 5 años más tarde aproximadamente que lo descrito por Schmeling. Los autores explicaron esto como una confusión con la cicatriz epifisaria que puede ser debida a que mayores grosores de imagen pueden disminuir la calidad de la misma y las probabilidades de detección.

En el mismo año, Bassed y colaboradores, realizaron otra investigación en el Instituto Victoriano de Medicina Forense de Melbourne, Australia, en el que analizaron la maduración de la epífisis esternal de la clavícula en relación a la mayoría de edad legal (18 años). Los resultados demostraron que si un individuo tenía las dos epífisis esternales de la clavícula en el estadio 5 de maduración (totalmente fusionadas), este individuo tendría, al menos, 21 años de edad en caso de varones, y 20 años de edad en caso de mujeres, con una probabilidad de acierto del 99% (Bassed *et alii.*, 2011).

También en 2011, Singh y Chavali, desarrollaron una investigación en población india, sobre una muestra de 343 cadáveres, 252 hombres y 91 mujeres, con el fin de relacionar la edad de los individuos con el cierre epifisario de la extremidad esternal de la clavícula. Se observó en sus resultados que no aparecía ningún caso menor de 18 años que no hubiera iniciado el proceso de fusión, al igual que ningún sujeto menor de 22 años presentaba fusión completa (estos resultados fueron obtenidos en ambos sexos). Por otro lado la fusión completa fue observada en individuos de hasta 32 años en casos masculinos y 31 a los en casos femeninos. Además, los autores afirman no haber encontrado diferencias significativas en cuanto al lado.

Otro trabajo realizado en el año 2011, fue el estudio sobre población española de Garamendi y colaboradores, basado en la utilidad de la radiografía digital de tórax para el diagnóstico de cambios en la clavícula y primera costilla con el fin de estimar la edad en casos de interés forense (Garamendi *et alii.*, 2011). La muestra de estudio consistió en radiografías anteroposteriores de tórax de 123 individuos, 61 hombres y 62 mujeres, de edades comprendidas entre los 5 y los 75 años, sobre los que se analizó la fusión de la epífisis medial de la clavícula, según los estadios de Schmeling, y la osificación del cartílago de la primera costilla, según el sistema establecido por Michelson.

Los resultados muestran que existe muy buena correlación entre la edad y la fusión epifisaria y que el grado de fusión completa de la epífisis esternal de la clavícula no se encuentra hasta los 20 años de edad. Por su parte, los autores añaden la buena correlación obtenida entre la osificación del cartílago costal y la edad, ya que cualquier signo de osificación se encontró por encima de los 25 años, y recomiendan su uso en casos de estimación forense de edad.

En 2013, Milenkovic y colaboradores, publicaron un trabajo con el fin de establecer un indicador fiable para la estimación de la edad en aquellas situaciones en las que los indicadores de maduración ósea no se encuentran disponibles (Milenkovic *et alii.*, 2013). Para su estudio utilizaron una muestra de clavículas de 67 individuos de entre 20 a 90 años, pertenecientes a la población serbia, que fallecieron entre los años 1998 y 2001. Sobre la muestra se realizó una valoración morfológica, radiológica e histológica en la que se evaluaron varias características: el tiempo de fusión de la epífisis esternal de la clavícula, el lipping, la porosidad, forma, profundidad y exostosis en la región articular, el volumen del sistema trabecular y la anchura mínima trabecular. Los

resultados concluyeron que se apreciaban en todas las características observadas una diferencia debida al sexo. En cuanto a la fusión epifisaria de la extremidad esternal de la clavícula se estableció como buen indicador de edad hasta su fusión completa.

Schulz y colaboradores, en 2013 publicaron un estudio, siguiendo la línea que comenzaron en 2008, en el que a través de métodos ecográficos realizaban la valoración del cierre epifisario en la extremidad esternal de la clavícula (Schulz *et alii.*, 2013). En este trabajo, los autores, ampliaron la muestra de estudio. Utilizaron 616 ecografías de la extremidad medial de la clavícula derecha, 309 hombres y 307 mujeres, que se prestaron voluntarios para el estudio. Sobre la muestra se estableció el estado de fusión basándose en la clasificación de Schulz.

Los resultados mostraron que los primeros signos de fusión (etapa 2) fueron detectados en los sujetos más precoces a los 14.4 años en hombres y 14.1 en mujeres; la fusión más avanzada (etapa 3) fue observada a los 17.6 en hombres y 17.4 en mujeres; y la fusión completa (etapa 4) aparecía en hombres a los 19.3 años y en mujeres a los 18.9 años. En relación a la media de edades en cada estadio se concluyó que en la fase 2 la media oscilaba entre los 17.3 y los 17.6, en la fase 3 entre los 20.2 y los 20.7, y en la fase 4 entre los 23.3 y los 23.5. Estos resultados están en consonancia con antiguos trabajos realizados y por ello son muy esperanzadores aunque los autores recomiendan que se valide el método en más poblaciones.

Posteriormente, en el mismo año, Gonsior y colaboradores, desarrollaron un trabajo comparativo entre las técnicas utilizadas para establecer el grado de fusión de la epífisis esternal de la clavícula en casos de interés forense (Gonsior *et alii.*, 2013). En este trabajo se comparan los resultados obtenidos de la tomografía computerizada, de la ecografía y del estudio macroscópico, de una muestra de 5 cadáveres pertenecientes a la población serbia, de sexo masculino, con edades comprendidas entre los 15,8 y los 28,8 años. Para el diagnóstico de la edad segmentaron la muestra en clavículas derechas e izquierdas. Los resultados indican que existen diferencias en 7 de cada 10 casos, obteniéndose en 6 de ellos un grado de desarrollo mayor cuando se aplicaba la técnica de la ecografía, basada en la clasificación propuesta por Schulz *et alii.*, en 2008. Tan sólo se encontró un caso en que ambas técnicas apuntaron los mismos resultados. Los autores discuten en su artículo sobre el menor poder de detección del ultrasonido frente a la tomografía computerizada, sobre todo en las regiones dorso-caudales de la

extremidad esternal de la clavícula. Este problema se manifiesta en los estados más avanzados de maduración ósea ya que, para un mismo sujeto, mientras con las técnicas ecográficas se asignaría un estadio 4, con las técnicas tomográficas aún no habría sobrepasado el estadio 3. En general, los autores, describen que las técnicas ecográficas sobreestiman la edad de los sujetos en torno a los 21 años de edad.

No obstante, el bajo número muestral reduce mucho la fiabilidad de este estudio. Además, la muestra estuvo basada en cadáveres y no en sujetos vivos, por los que podría haber diferencias debido a los cambios post mortem. Por estas razones, los autores recomiendan que se desarrollen trabajos semejantes con mayor número de individuos.

7.2 ESTUDIOS RELATIVOS A LA FUSIÓN DE LA EPÍFISIS PROXIMAL DEL HÚMERO.

Desde los comienzos de la antropología se ha intentado llevar a cabo investigaciones que esclarezcan los tiempos de fusión de las epífisis de los huesos largos con la finalidad de poder estimar la edad en sujetos subadultos adolescentes.

El primer estudio que se conoce data de 1908 (Pryor, 1908). Este trabajo fue de mucha importancia científica ya que se realizó sobre una muestra de 554 radiografías, de niños de 3 meses a 14 años de edad, pertenecientes a la población australiana. Los resultados indicaron que los huesos de las mujeres culminan su proceso de osificación antes que los huesos de los hombres. Fue la primera evidencia de una diferenciación sexual en cuanto al proceso madurativo.

Posteriormente, Sidhom y Derry, investigaron la unión de algunas de las epífisis del miembro superior en una muestra de 400 niños egipcios, en su mayoría con edades comprendidas entre 14 y 20 años. Los resultados obtenidos fueron comparados con los del estudio realizado por Pryor, en 1908, sobre una población australiana, concluyéndose que mayoría de las epífisis se fusionaban a la misma edad en el caso del epicóndilo medial y de ambas epífisis del radio, mientras que en población egipcia se fusionaba un año antes en la epífisis distal del húmero y la epífisis distal del cúbito, y dos años antes de la falange distal del pulgar (Sidhom y Derry, 1931).

En 1933, Flecker, contempla los tiempos de fusión de todas las epífisis de los huesos largos. En cuanto a la fusión de la epífisis proximal del húmero, el autor determina que el tiempo de sinostosis es bastante constante. Se observó que la edad más temprana a la que se producía la fusión completa eran 16 años y 8 meses en mujeres y 16 años en hombres y, la edad más tardía, eran 18 años en mujeres y 19 años y 2 meses en hombres (Flecker, 1933).

Unos años más tarde, Scheuer y Black, en el 2000, publicaron el libro “Developmental juvenile osteology”, que es un compendio que recoge el proceso de maduración ósea desde las fases iniciales de la vida intrauterina y el desarrollo postnatal hasta la fusión de los cartílagos metafisarios. En cuanto a la epífisis proximal del húmero, engloba su fusión completa en el intervalo etario de entre 13 y 17 en caso de mujeres y, entre 16 y 20 años en caso de varones (Scheuer y Black, 2000).

En 2008, Cardoso publicó un trabajo basado en el tiempo de fusión de las epífisis de los huesos que componen la extremidad superior con el objetivo de hallar un rango de fusión para cada una de las epífisis (Cardoso, 2008). Para su estudio utilizó una muestra de 121 individuos (65 mujeres y 56 hombres), de población portuguesa, con edades comprendidas entre los 9 y los 29 años, procedentes de la colección de esqueletos identificados de Lisboa. De todos los individuos seleccionó cinco huesos: la escápula, la clavícula, el húmero, el radio y el cúbito de ambos lados. Sobre ellos realizó la valoración de 16 regiones anatómicas basándose en tres grados de fusión: ausencia de fusión, fusión parcial y fusión completa.

Los resultados mostraron, en cuanto a la fusión de la epífisis proximal del húmero, que había diferencias significativas entre sexos, siendo más precoz la fusión en el sexo femenino. Las edades límites que se encontraron en este estudio son las siguientes: estadio 0 o ausencia de fusión, se encontró en sujetos menores o iguales a 16 años en mujeres y menores o iguales a 21 años en hombres; estadio 1 o fusión parcial, se encontró en individuos entre 16 y 21 años en mujeres y entre 14 y 19 años en hombres; y el estadio 3 o fusión completa, se encontró en sujetos de sexo femenino mayores de 16 años y de sexo masculino mayores de 26 años. Tras la obtención de estos resultados el autor concluye la eficacia del método de fusión epifisaria para la estimación de la edad en sujetos adolescentes y recomienda la determinación previa del sexo para poder

estimar la edad con certeza debido a las diferencias madurativas entre ambos sexos (Cardoso, 2008).

En 2013, Rissech y colaboradores, publicaron un estudio basado en los patrones de desarrollo del húmero en el periodo neonatal para la estimación de la edad y el sexo (Rissech *et alii.*, 2013). Para ello utilizaron una muestra de 181 individuos (90 hombres y 90 mujeres), con edades comprendidas desde el nacimiento hasta los 25 años, pertenecientes a tres colecciones de esqueletos documentados de Europa (Coimbra, Lisboa y St. Bride). Sobre ellos se estudiaron cuatro parámetros: la longitud de la diáfisis, el diámetro transversal de la metáfisis proximal, el desarrollo del epicóndilo lateral y el diámetro vertical de la cabeza del húmero.

Los resultados muestran que existen diferencias significativas en cuanto al sexo de los individuos en dos variables de estudio: en el desarrollo del epicóndilo lateral a partir de los 20 años de edad y en el diámetro vertical de la cabeza a partir de los 15 años de edad. En cuanto a la edad se observaron fuertes correlaciones entre la longitud de la diáfisis y el diámetro transversal de la metáfisis proximal por lo que los autores sugieren que podrían ser métodos fiables para la estimación de la edad en individuos subadultos.

8. LA RADIOLOGÍA Y LA ECOGRAFÍA COMO TÉCNICAS AUXILIARES EN ANTROPOLOGÍA FORENSE.

8.1 LA RADIOLOGÍA

La radiología es una técnica auxiliar que lleva utilizándose en Medicina desde el descubrimiento de los rayos X, en 1895, por el profesor Wihelm Conrad Röntgen (1845-1923), en la Universidad de Würzburg, en Alemania.

Röntgen se encontraba experimentando con fotones de luz y otras emisiones, que eran generadas por descargas en tubos de vidrio al vacío, con el objetivo de determinar el alcance de los rayos catódicos fuera del tubo de descarga. El 8 de noviembre de 1895, percibió que en los casos en que el tubo cubierto estaba cargado otros objetos, que se encontraban a mucha distancia como para pensar en los rayos catódicos, comenzaban a emitir luz. Tras este descubrimiento siguió experimentando en esta línea y manipulando la distancia y composición de los objetos hasta que, accidentalmente, llegó a la observación de los huesos de su propia mano.

Tras ser consciente del alcance del descubrimiento de los rayos X, Röntgen, realizó una comunicación pública en la Sociedad Físico-Médica de Würzburg, en la que incluye la primera radiografía de la que se conoce registro en la historia (Brogdon, 1998). A partir de ese momento, y gracias a la gran difusión sobre el poder de penetración de los rayos X, se realizaron numerosos estudios que supusieron un gran avance en la técnica de la radiología, hasta el punto de que en muy poco tiempo se convirtió en una de las técnicas más importantes para el diagnóstico de patologías traumáticas en el campo de la medicina.

Sin embargo, en un primer momento nadie reparó en los posibles efectos adversos que pudieran derivarse de esta técnica. El primero en exponer científicamente los daños que podría generar los rayos X fue Thomson (1853-1937) que, trabajando en mejorar los tubos de rayos X para que pudieran obtenerse imágenes estereoscópicas, se percató de que la radiación podría generar perjuicio sobre los tejidos humanos. Así, demostró en una de sus publicaciones como los rayos X podrían producir quemaduras en los tejidos vivos. Fue a partir de entonces cuando se empezó a investigar en profundidad los daños producidos por esta técnica.

En 1896, Becquerel (1852-1908), experimentando con sales de uranio sobre placas fotográficas, comprobó que la emisión del uranio era capaz de atravesar sustancias

opacas. De esta manera, descubrió una nueva propiedad de la de la materia a la que denominó radiactividad. Sin embargo, no se estableció la relación entre la radiactividad y los rayos X hasta que un día Becquerel accidentalmente se quemó al colocar un material que contenía radio. Posteriormente, ocurre algo parecido con los Curie que intentan demostrar la eficacia del radio en el tratamiento de enfermedades y también sufren quemaduras importantes. Desde este momento, y en las siguientes décadas fallecen muchos investigadores y médicos que habían estado dedicados a este campo como consecuencia de las quemaduras por radiación y cáncer, hasta llegar a contar casi un centenar de personas que había estado expuestos a los rayos X.

Gracias a esto, se asoció la radiación a los rayos X y se adoptó una conciencia colectiva sobre la manera de utilizarlos para evitar riesgos. Así se inicia el desarrollo de la radiobiología y la protección radiológica para aquellos profesionales que trabajan en este campo así como para los pacientes que tengan que hacer uso de esta técnica.

Desde su descubrimiento, la técnica radiológica fue evolucionando rápidamente, y empezó a ser aplicable a otras disciplinas como la Antropología Física y Forense. Así fue como en 1986, se propuso la utilización de esta técnica en estudios del carpo como indicador de edad ósea. Desde este momento se estuvo utilizando la radiología en muchos estudios destinados a establecer estándares de maduración ósea en diferentes regiones anatómicas, hasta el punto que, a día de hoy, se ha convertido en una de las técnicas más importantes para el estudio de la edad y ha sido utilizada en numerosos estudios de Antropología Física y Forense.

RADIOLOGÍA ANALÓGICA Y DIGITAL

El fundamento físico principal de la radiología se basa en atravesar un objeto o un cuerpo con rayos X de tal forma que así obtengamos una imagen fotográfica que quede registrada en una película especial, y que permita observar estructuras internas del cuerpo humano que no podrían verse de otra manera.

Los rayos X son fotones, cuyas energías se distribuyen a lo largo de un espectro continuo, que se obtienen haciendo incidir un haz de electrones con suficiente energía sobre un metal de wolframio, tungsteno o molibdeno. Los rayos X se obtienen dentro de un tubo de cristal sometido a un alto nivel de vacío que constará de dos electrodos, uno

positivo o ánodo y otro negativo o cátodo. El cátodo presenta un filamento que a elevadas temperaturas emite electrones que viajarán hasta el ánodo incidiendo bruscamente en él y liberando así los rayos X.

En el generador de rayos X se pueden modificar varios parámetros dependiendo del objeto que se quiera radiografiar: la tensión, medida en kilovoltios, determina la energía de los electrones y por tanto el poder de penetración de los rayos X; la intensidad, se mide en miliamperios y determina la tensión aplicada al filamento del cátodo y por tanto influirá en el número de electrones liberados; el tiempo de exposición, es el tiempo que dura el disparo; y la distancia foco-película, que es la distancia a la que se encuentra el objeto a radiografiar del foco de rayos X y de la película radiográfica.

Por su parte, las películas radiográficas constan de una emulsión, que contiene halógenos de plata, que la hace sensible a los rayos X y la luz, que cuando es revelada se vuelve de color negro. Para poder observar la radiografía, es necesario someter la película a un proceso de revelado y fijado que consiste en transformar a color negro los cristales que estuvieron sometidos a la radiación y no alterar los que no estuvieron expuestos. De esta manera hay zonas de la película que se ven de color negro, gris o blanco, dependiendo de la cantidad de radiación a la que hayan estado expuestas.

El revelado y fijado, así como cargar el chasis con la película radiográfica debe realizarse en un cuarto oscuro acondicionado para dicho fin. En primer lugar se debe extraer la película con cuidado de no ensuciarla en la manipulación, en segundo lugar la película se introducirá en la fase de revelado y fijado (tras estas dos operaciones la película pasará por una fase de lavado), y en tercer lugar se someterá a una fase de secado. Gracias a estas fases la película queda lista para poder ser observada en una superficie de luminancia uniforme como un negatoscopio.

El problema de la radiología convencional es que las placas radiográficas son muy difíciles de analizar en sí mismas por lo que normalmente se tiene que digitalizar. A este proceso se le denomina radiología digital indirecta, ya que permite la obtención de una imagen digitalizada a partir de una imagen analógica. La radiología analógica o convencional permite una calidad de imagen inigualada a la digitalizada, sin embargo, no permite todas las modificaciones imagenológicas que se pueden conseguir con la digitalización. Hay dos tipos de obtención de imágenes digitales a través de radiografías analógicas:

- Radiografías convencionales en placa digitalizadas utilizando un escáner plano y un adaptador de transparencias.
- Radiografías convencionales en placa mediante el uso de una cámara digital

En cualquiera de estos dos casos, el límite de resolución de la imagen digitalizada obtenida dependerá de las características que se dispongan en el escáner o cámara digital utilizados para su registro.

La radiología digital directa, por su parte, difiere un poco de la anteriormente explicada radiología convencional. La radiología digital directa no sólo se ha convertido en una revolución dentro del campo de la radiología sino que se ha establecido como un método diagnóstico novedoso en sí mismo, desde su desarrollo en los años 70 (Schmitt y Lehman, 2004). Este método está basado en la obtención, edición y presentación de imágenes radiográficas gracias a su asociación con la tecnología de los ordenadores.

Las ventajas de la radiología digital directa frente a la radiología convencional son las siguientes: se eliminan la mayor parte de los productos químicos usados para el revelado y fijado de las placas; se obtiene mejor calidad de imagen gracias a las posibilidades del filtrado digital; es mucho más rápida; y facilita el acceso a la información ya que se pueden crear bases de datos específicas que pueden gestionarse a través de medios digitales.

En la radiología digital directa no es necesaria la obtención de placas radiográficas analógicas, sino que utilizan otro tipo de mecanismo. En este caso las placas utilizadas contienen cristales de fósforo que tienen la capacidad de retener la imagen latente tras su exposición por los rayos X. Gracias a esta propiedad, un sistema de luz láser puede obtener la imagen latente y recuperar los electrones transportando la imagen a un dispositivo fotomultiplicador, que transforma la señal de luz recibida en valores de píxeles para que se pueda obtener la imagen digital (Van der Stelt, 2000). Hay dos métodos diferentes a través de los cuales se pueden obtener radiografías digitales:

- Imagen digital semidirecta adquirida utilizando placas de fósforo estimulable.
- Imagen digital directa adquirida utilizando un dispositivo de carga acoplada.

En cualquiera de estos dos casos, la imagen digital obtenida debe tener una calidad suficientemente buena en cuanto a resolución y niveles de gris.⁶

8.2 LA ECOGRAFÍA

La técnica ecográfica puede definirse como un medio diagnóstico basado en las imágenes obtenidas mediante el procesamiento de los ecos reflejados por las estructuras corporales, gracias a la acción de las ondas ultrasónicas. La ecografía ha tenido una evolución muy rápida gracias a su inocuidad, ya que se pueden realizar numerosos estudios a una misma persona, sin ningún riesgo, y a con un coste económico muy bajo.

El ultrasonido abarca un espectro de frecuencias sonoras que superan altamente a las frecuencias que pueden ser detectadas por el oído humano, por esta razón el ser humano no es capaz de percibirlos. En la naturaleza existen muchos seres vivos, como murciélagos y ballenas, que utilizan la ecolocación para cartografiar el espacio cuando la visión no aporta ninguna información. Esa habilidad de algunos seres vivos fue el fundamento inicial, que impulsó la técnica ecográfica para poder elaborar una representación visual de un espacio anatómico.

La historia de la ecografía como técnica de diagnóstico se remonta a principios del siglo XX cuando, en 1912, Richardson, tras el hundimiento del Titanic, descubrió el uso de ecos ultrasónicos para la detección de objetos que estuvieran sumergidos y posteriormente, Paul Langevin y Chilowsky, en 1917, produjeron el primer generador piezoeléctrico de ultrasonido que fue utilizado para estudiar el fondo marino. Aunque el gran descubrimiento para el impulso de esta técnica fue, sin duda, la aparición del SONAR (Sound Navigation and Ranging) durante la Segunda Guerra Mundial (1939-1945), que se convirtió en norma para detectar submarinos de guerra.

A partir de este momento surgen diferentes investigaciones aplicadas al estudio de regiones anatómicas, como la detección de tumores cerebrales (Dussik, 1942), detección de tejidos suaves (Howry, 1952), o detección de cálculos y cuerpos extraños intracorpóreos (Donald y Brown, 1961).

Gracias a esto se mejoran mucho las técnicas y en 1951 nace el primer equipo de ultrasonido compuesto con imágenes unidimensionales. Unos años después, en 1957, aparece el scanner de contacto bidimensional; en 1960, el primer scanner automático; en 1983 el primer ecógrafo capaz de reproducir imágenes en tiempo real, al que

posteriormente, se incorpora el doppler a color en imágenes bidimensionales; en 1994, aparece el procesador en color para imágenes diagnósticas ecográficas, y en la actualidad ya se han incorporado las imágenes ecográficas en 3D y 4D.

FUNDAMENTOS FÍSICOS DE LA ECOGRAFÍA

Para comprender el funcionamiento de la técnica ecográfica se debe comprender que el sonido es una sensación producida por una onda longitudinal que se origina gracias a la vibración de un cuerpo elástico y que se propaga a través de un medio material. De la misma manera que el sonido se define como una onda, el ultrasonido consiste en una composición de ondas mecánicas, longitudinales, que se producen y propagan de la misma manera que el sonido y cuya frecuencia supera en 20 KHz a la frecuencia que es capaz de percibir el oído humano.

La técnica ecográfica utiliza el eco pulsado que consiste en que al aplicar un voltaje a la superficie de los cristales que componen el transductor se generan paquetes de energía dentro del tejido humano. Cuando esta energía llega a los tejidos una parte es reflejada en las diferentes interfases y vuelve al transductor que lo traduce en un pequeño voltaje debido a una presión que hace que se comprimen las superficies de los cristales en el transductor. Las interfaces son los límites entre medios de diferente impedancia, que se traduce como el producto entre la densidad de los tejidos y la velocidad del sonido en ellos. De esta manera el transductor actúa como emisor y receptor al mismo tiempo.

El pulso está formado por tres componentes: la fase emisora, gracia a la cual se genera el haz acústico; la fase de equilibrio, que corresponde al tiempo en el que no hay ni emisión ni recepción y los cristales se encuentran en equilibrio; y la fase receptora, que es la usada para la recepción de los ecos provenientes de las interfases.

Para su aplicación clínica, la técnica ecográficas dispone de varios tipos de modalidades: Modo A, en la que el transductor se mantiene fijo y el equipo registra la amplitud de los ecos que retornan al individuo, permitiendo por tanto medir la distancia entre las estructuras corporales; Modo B, en el que cada eco está representado por un punto brillante cuyo tamaño es proporcional a la amplitud de la señal; el Scan B, en el que se utiliza el transductor para efectuar un rastreo sobre la piel del sujeto; la Modalidad M (TM), que permite analizar las superficies que se encuentran en

movimiento; la Modalidad en Tiempo Real, en la que se reduce mucho el tiempo de exploración y además, se aporta gran información acerca del movimiento del corazón, pulsatilidad de las arterias o movimientos intestinales.

9. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

El número de casos forenses en el que se plantea la estimación de la edad con fines identificativos, ya sea en cadáveres esqueletizados o en sujetos vivos ha crecido exponencialmente en los últimos años.

En los casos en que se hace necesaria la estimación de la edad en cadáveres parcial o totalmente esqueletizados, los métodos que se utilizan están basados: en patrones de crecimiento, en caso de sujetos que no han alcanzado su maduración ósea y, en patrones degenerativos, en casos de sujetos adultos que han culminado su proceso madurativo. En el primer caso, los métodos se encuentran bien estudiados y aportan resultados bastante fiables, con intervalos etarios estrechos, que se ajustan con precisión a la realidad. Sin embargo, en el caso de estimar la edad de sujetos adultos, los métodos proporcionan resultados bastante imprecisos que difieren mucho de la edad real, ya que los cambios degenerativos están muy vinculados a factores externos, como la actividad física o la situación socioeconómica.

Por otro lado, cuando se abordan casos de estimación forense de la edad en sujetos vivos, normalmente, se requiere saber si una persona es mayor de edad (18 años en España) con la finalidad de aplicar correctamente la legislación vigente. Los métodos que se han estado utilizando para la estimación de la mayoría de edad legal están basados en la recta final del proceso madurativo del esqueleto. Estos métodos, por lo general, son bastante precisos, aunque los intervalos etarios que se buscan son tan estrechos que, muchas veces, no es posible responder a las demandas de la administración de justicia. Asimismo, las técnicas radiológicas que, tradicionalmente, se han empleado para la estimación de la edad en estos casos están en entredicho dado que son técnicas invasivas y representan un riesgo para la persona que es sometida a ellas.

Por estos motivos, se hace necesario continuar investigando acerca de la estimación de la edad, tanto en sujetos adultos como en individuos subadultos. Además, la Escuela de Medicina Legal de la Universidad Complutense de Madrid dispone de unas excelentes colecciones óseas de referencia para población adulta, así como de material e instalaciones óptimas para el desarrollo de este tipo de estudios. Actualmente, dispone de un laboratorio de rayos X y de un ecógrafo que permite visualizar partes blandas, entre ellas regiones de cartílago metafisario. Gracias a esto, se tomó la decisión de plantear la tesis con una doble perspectiva: por un lado, realizar un estudio en sujetos adultos esqueletizados aplicando técnicas morfológicas, métricas y radiológicas que

podrían ser de utilidad en la estimación de la edad; y por otro, aplicar la técnica ecográfica (técnica no invasiva) en población viva a fin de poder establecer con mayor nitidez, si es posible, cuando un individuo ha alcanzado la mayoría de edad legal (18 años).

Para la estimación de la edad en el sujeto adulto esqueletizado se han elegido la clavícula, la escápula y el esternón, ya que pertenecen a regiones anatómicas que no soportan grandes cargas biomecánicas que pudieran interferir en el estudio; mientras que, la elección de la clavícula y el húmero en el sujeto vivo ha sido debida al tiempo de fusión de las regiones epifisarias de ambos huesos, que coinciden con el rango de edad que es más interesante desde el punto de vista legal.

10. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO

10.1 HIPÓTESIS

Las hipótesis del presente estudio son las siguientes:

1. El presente estudio va a mejorar la predicción de la edad en cadáveres esqueletizados de sujetos adultos gracias al estudio morfométrico de las variaciones observables a través de radiografías de clavícula, escápula y esternón.
2. El presente estudio va a suponer el diseño de un nuevo método de estimación de la mayoría de edad legal en España, basado en la detección, a través del método ecográfico, de la fusión de la epífisis distal de la clavícula y de la epífisis proximal del húmero, que va a mejorar la predicción de la edad en este rango etario.

10.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

1. Establecer la correlación de las variaciones de gris (extremidad distal y extremidad acromial) de una superficie de área conocida, con la edad de los individuos de estudio, a través del estudio de análisis de imagen sobre radiografías de clavículas pertenecientes a una población identificada.
2. Desarrollar unos patrones que puedan ser usados como indicadores para la estimación forense de la edad en sujetos adultos, realizando un estudio morfométrico basado en la disminución que sufre el grosor de la cortical, tanto a nivel anterior como posterior de la clavícula.
3. Desarrollar, gracias al análisis estadístico de la regresión múltiple, unas ecuaciones que relacionen las variables basadas en las variaciones medias de gris y en los índices claviculares, con el fin de aplicarlas al estudio forense de la edad en individuos adultos.
4. Relacionar las variaciones que ocurren en el diámetro trabecular de la extremidad distal, la cavidad medular y la extremidad acromial de la clavícula, con la edad de los individuos de estudio, a través de la realización de un estudio morfométrico.

5. Correlacionar las variaciones que ocurren en el diámetro trabecular con la edad de los sujetos de estudio, a través del estudio morfométrico de dos regiones seleccionadas en la escápula: cuello de la escápula y borde axilar de la misma.
6. Relacionar las variaciones que ocurren a nivel de la arquitectura trabecular en dos regiones seleccionadas de la escápula: cuello y borde axilar, con la edad en sujetos adultos.
7. Correlacionar los patrones de fusión de las articulaciones, manubrioesternal y xifoesternal, del esternón, con el avance de la edad en individuos adultos.
8. Determinar si la aplicación del método ecográfico al estudio de la fusión de la epífisis esternal de la clavícula, sobre una población de personas voluntarias, actúa como un buen indicador para la estimación de la mayoría de edad legal en España.
9. Determinar si la aplicación de las técnicas de ultrasonido al estudio de la fusión de la epífisis proximal del húmero, sobre una población de personas voluntarias, proporciona resultados útiles para la estimación de la mayoría de edad legal en España
10. Averiguar si la aplicación conjunta de los métodos de fusión, de la extremidad esternal de la clavícula y de la epífisis proximal del húmero, proporciona mayor precisión a la hora de estimar de la mayoría de edad legal en España (18 años).

11. MATERIAL Y MÉTODOS

11.1 MATERIAL DE ESTUDIO

11.1.1 MATERIAL EMPLEADO PARA EL ESTUDIO RADIOGRÁFICO: COLECCIÓN ÓSEA DE INDIVIDUOS IDENTIFICADOS DE LA ESCUELA DE MEDICINA LEGAL.

Para la elaboración de este estudio se ha utilizado la colección ósea de individuos identificados de La Escuela de Medicina Legal. Esta colección está representada por 199 esqueletos pertenecientes a la población española actual, de sexo y edad conocidos, prácticamente completos, que fallecieron entre los años 1975 y 1996. Una característica muy importante de esta colección es que contiene la misma proporción de hombres y mujeres y, a excepción de los grupos etarios más jóvenes (<25 años) que se encuentran en una proporción menor, conserva muy bien representados todos los grupos de edad.

De todos los individuos que componen la colección ósea se han seleccionado los adultos, mayores de 20 años, teniendo, por tanto, el individuo más joven 20 años y, el más longevo 93. De todos los huesos que forman el esqueleto humano, se han seleccionado: la clavícula, la escápula y el esternón, para la realización de este trabajo.

CLAVÍCULA

Para el desarrollo del presente estudio se seleccionaron las clavículas de 181 individuos, 90 mujeres y 91 hombres, de entre 20 y 93 años. Se analizaron ambas clavículas, izquierda y derecha, de cada individuo, obteniéndose un total de 362 clavículas. De ellas, 30 (15 individuos) fueron excluidas por presentar alteraciones, erosión o fracturas, tanto en las extremidades esternal y acromial, como en la diáfisis, que pudieran interferir en los resultados del estudio. Por tanto, finalmente el estudio se llevó a cabo sobre una muestra de 332 clavículas, pertenecientes a individuos adultos, de sexo y edad conocido, de origen español.

De las 332 clavículas utilizadas en el estudio, 172 pertenecen a hombres y 160 a mujeres. Por otro lado, debido a que se seleccionaron las dos clavículas de cada individuo, la muestra contiene 166 clavículas derechas y 166 izquierdas (Tabla 4).

Tabla 4. Distribución de la muestra en función del sexo y la edad.

Grupos etarios	Muestra Total		Hombres		Mujeres		Derechas		Izquierdas	
	N	%	N	%	n	%	n	%	N	%
20 - 30	22	6.62	16	9.30	6	3.75	11	6.62	11	6.62
31 - 40	53	15.96	37	21.51	16	10	26	15.66	26	15.66
41 - 50	39	11.74	20	11.63	19	11.87	20	12.04	20	12.04
51 - 60	52	15.66	31	18.02	21	13.12	26	15.66	26	15.66
61 - 70	36	10.84	21	12.20	15	9.37	18	10.84	18	10.84
71 - 80	76	22.89	30	17.44	46	28.75	38	22.89	38	22.89
Mayor de 81	54	16.26	17	9.88	37	23.12	27	16.26	27	16.26
Total	332	100	172	100	160	100	166	100	166	100

ESCÁPULA

Para la elaboración de este trabajo se seleccionaron las escápulas de 181 individuos, 90 mujeres y 91 hombres, de entre 20 y 93 años. Se analizaron ambas escápulas, izquierda y derecha, de cada individuo, obteniéndose un total de 362 escápulas. De ellas, 136 (68 individuos) fueron excluidas por presentar alteraciones o fracturas, en la cavidad glenoidea, apófisis coracoides, acromion o cuerpo de la escápula, que pudieran interferir en los resultados del estudio. Por tanto, finalmente el estudio se realizó sobre una muestra de 226 escápulas, pertenecientes a individuos adultos, de sexo y edad conocido, de origen español.

De las 226 escápulas utilizadas en el estudio, 124 pertenecen a hombres y 102 a mujeres. En cuanto a la lateralidad, la muestra contiene 113 escápulas derechas y 113 izquierdas (Tabla 5).

Tabla 5. Distribución de la muestra en función del sexo y la edad.

grupos etarios	Muestra Total		Hombres		Mujeres		Derechas		Izquierdas	
	N	%	N	%	n	%	n	%	N	%
20 - 30	16	7.07	10	8.06	6	5.88	9	7.96	9	7.96
31 - 40	38	16.81	31	25	7	6.86	16	14.15	16	14.15
41 - 50	24	10.61	18	14.51	11	10.78	9	7.96	9	7.96
51 - 60	35	15.48	21	16.93	9	8.82	21	18.58	21	18.58
61 - 70	27	11.94	17	13.70	12	11.76	12	10.62	12	10.62
71 - 80	58	25.66	20	16.13	33	32.35	27	23.89	27	23.89
Mayor de 81	28	12.38	7	5.64	24	23.52	19	16.81	19	16.81
Total	226	100	124	100	102	100	113	100	113	100

ESTERNÓN

Para el desarrollo de esta investigación se seleccionaron los esternones de 181 individuos, 90 mujeres y 91 hombres, de entre 20 y 93 años. De ellos, 83 fueron excluidos por presentar alteraciones o fracturas, en el manubrio, cuerpo o apéndice xifoides que pudieran interferir en los resultados del estudio, o por no presentar alguna de las tres partes que lo componen. Por tanto, finalmente el estudio se realizó sobre una muestra de 98 esternones, pertenecientes a individuos adultos, de sexo y edad conocido, de origen español.

De los 98 esternones utilizados en el estudio, 51 pertenecen a hombres y 47 a mujeres (Tabla 6).

Tabla 6. Distribución de la muestra en función del sexo y la edad.

Grupos etarios	Muestra Total		Hombres		Mujeres	
	n	%	n	%	n	%
20 – 30	23	14.65	15	15.79	8	12.90
31 – 40	26	16.56	17	17.89	9	14.51
41 – 50	25	15.92	15	15.79	10	16.13
51 – 60	17	10.82	11	11.58	6	9.67
61 – 70	19	12.11	10	10.53	9	14.51
71 – 80	25	15.92	14	14.73	11	17.74
Mayor de 81	22	14.01	13	13.68	9	14.51
Total	157	100	95	100	62	100

11.1.2 MATERIAL EMPLEADO PARA EL ESTUDIO ECOGRÁFICO: MUESTRA DE VOLUNTARIOS PERTENECIENTES A LA POBLACIÓN ESPAÑOLA.

Para el desarrollo del presente trabajo se ha utilizado una muestra de ecografías de personas que, voluntariamente, han accedido a colaborar con esta investigación. Los voluntarios han sido personas, pertenecientes a la población española, de ambos sexos, y con edades comprendidas entre los 5 y los 30 años. Los voluntarios mayores de edad han sido alumnos de centros de Educación Secundaria y Ciclos Formativos de grado superior, de áreas afines a las Ciencias Biomédicas, de La Comunidad de Madrid, que han firmado un acuerdo de colaboración con La Escuela de Medicina Legal y Forense de Madrid, para el desarrollo de actividades docentes. Ver ANEXO I (propuesta didáctica de la Escuela de Medicina Legal de Madrid para el acuerdo de colaboración).

Los centros docentes que han colaborado en esta investigación han sido los siguientes:

- Instituto de Educación Secundaria Moratalaz
- Instituto de Educación Secundaria San Juan de la Cruz

- Instituto de Educación Secundaria Cardenal Herrera Oria
- Colegio Virgen de Mirasierra
- Centro María Inmaculada

Por otro lado, los voluntarios menores de edad han sido procedentes de familiares y amigos que han aceptado participar en el presente proyecto.

La toma de imágenes ecográficas se ha realizado en dos regiones anatómicas, la clavícula y el húmero, debido a que su localización permite el fácil acceso y a que, por su cronología de fusión epifisaria, se encuentran en el rango de la mayoría de edad legal en España (18 años).

CLAVÍCULA

Para el desarrollo del presente estudio se han utilizado imágenes ecográficas de la extremidad esternal de la clavícula, de 221 individuos, de ambos sexos, con edades comprendidas entre los 5 y los 30 años de edad, pertenecientes a la población española. Se analizaron ambos lados, izquierdo y derecho, de cada voluntario, obteniéndose un total de 442 imágenes ecográficas de la extremidad esternal de la clavícula.

De las 442 imágenes ecográficas utilizadas en el estudio, 150 pertenecen a hombres (75 individuos) y 292 a mujeres (146 individuos). En cuanto a la lateralidad, la muestra contiene 221 imágenes ecográficas de clavículas derechas y 221 de clavículas izquierdas (Tabla 7).

Tabla 7. Distribución de la muestra en función del sexo y la edad.

DISTRIBUCIÓN DE LA MUESTRA. EXTREMIDAD ETERNAL DE LA CLAVÍCULA										
Grupos etarios (años)	Muestra Total		Hombres		Mujeres		Derechas		Izquierdas	
	N	%	n	%	N	%	n	%	N	%
5 – 6	8	1.80	6	4	2	0.68	4	1.80	4	1.80
6 – 7	2	0.45	2	1.33	0	0	1	0.45	1	0.45
7 – 8	4	0.90	2	1.33	2	0.68	2	0.90	2	0.90
8 – 9	4	0.90	4	2.66	0	0	2	0.90	2	0.90
9 – 10	20	4.52	14	9.33	6	2.05	10	4.52	10	4.52
10 – 11	12	2.71	8	5.33	4	1.36	6	2.71	6	2.71
11 – 12	4	0.90	2	1.33	2	0.68	2	0.90	2	0.90
12 – 13	2	0.45	2	1.33	0	0	1	0.45	1	0.45
13 – 14	6	1.35	4	2.66	2	0.68	3	1.35	3	1.35
14 – 15	4	0.90	2	1.33	2	0.68	2	0.90	2	0.90
15 – 16	6	1.35	2	1.33	4	1.36	3	1.35	3	1.35
16 – 17	4	0.90	2	1.33	2	0.68	2	0.90	2	0.90
17 – 18	6	1.35	4	2.66	2	0.68	3	1.35	3	1.35
18 – 19	66	14.93	20	13.33	46	15.75	33	11.30	33	11.30
19 – 20	74	16.74	16	10.66	58	19.86	37	12.67	37	12.67
20 – 21	40	9.04	4	2.66	36	12.32	20	6.85	20	6.85
21 – 22	38	8.59	8	5.33	30	10.27	19	6.50	19	6.50
22 – 23	24	5.42	8	5.33	16	5.48	12	4.11	12	4.11
23 – 24	24	5.43	4	2.66	20	6.84	12	4.11	12	4.11
24 – 25	10	2.26	4	2.66	6	2.05	5	1.71	5	1.71
25 – 26	14	3.17	6	4	8	2.73	7	2.39	7	2.39
26 – 27	14	3.17	4	2.66	10	3.42	7	2.39	7	2.39
27 – 28	22	4.97	10	6.66	12	4.11	11	3.76	11	3.76
28 – 29	20	4.52	8	5.33	12	4.11	10	3.42	10	3.42
29 – 30	14	3.17	4	2.66	10	3.42	7	2.39	7	2.39
Total	442	100	150	100	292	100	221	100	221	100

HÚMERO

Para el desarrollo del presente estudio se han utilizado imágenes ecográficas de la de la epífisis proximal del húmero, de 221 individuos, de ambos sexos, con edades comprendidas entre los 5 y los 30 años de edad, pertenecientes a la población española. De cada voluntario, se registraron ambos lados, izquierdo y derecho, obteniéndose un total de 442 imágenes ecográficas de la epífisis proximal del húmero.

De las 442 imágenes ecográficas utilizadas en el estudio, 150 pertenecen a hombres (75 individuos) y 292 a mujeres (146 individuos). Además, como se realizaron ecografías en ambos lados, la muestra contiene 221 imágenes ecográficas de húmeros derechos y 221 de húmeros izquierdos (Tabla 8).

Tabla 8. Distribución de la muestra en función del sexo y la edad.

DISTRIBUCIÓN DE LA MUESTRA. EPÍFISIS PROXIMAL DEL HÚMERO										
Grupos etarios (años)	Muestra Total		Hombres		Mujeres		Derechas		Izquierdas	
	n	%	n	%	N	%	n	%	N	%
5 – 6	8	1.80	6	4	2	0.68	4	1.80	4	1.80
6 – 7	2	0.45	2	1.33	0	0	1	0.45	1	0.45
7 – 8	4	0.90	2	1.33	2	0.68	2	0.90	2	0.90
8 – 9	4	0.90	4	2.66	0	0	2	0.90	2	0.90
9 – 10	20	4.52	14	9.33	6	2.05	10	4.52	10	4.52
10 – 11	12	2.71	8	5.33	4	1.36	6	2.71	6	2.71
11 – 12	4	0.90	2	1.33	2	0.68	2	0.90	2	0.90
12 – 13	2	0.45	2	1.33	0	0	1	0.45	1	0.45
13 – 14	6	1.35	4	2.66	2	0.68	3	1.35	3	1.35
14 – 15	4	0.90	2	1.33	2	0.68	2	0.90	2	0.90
15 – 16	6	1.35	2	1.33	4	1.36	3	1.35	3	1.35
16 – 17	4	0.90	2	1.33	2	0.68	2	0.90	2	0.90
17 – 18	6	1.35	4	2.66	2	0.68	3	1.35	3	1.35
18 – 19	66	14.93	20	13.33	46	15.75	33	11.30	33	11.30
19 – 20	74	16.74	16	10.66	58	19.86	37	12.67	37	12.67
20 – 21	40	9.04	4	2.66	36	12.32	20	6.85	20	6.85
21 – 22	38	8.59	8	5.33	30	10.27	19	6.50	19	6.50
22 – 23	24	5.42	8	5.33	16	5.48	12	4.11	12	4.11
23 – 24	24	5.43	4	2.66	20	6.84	12	4.11	12	4.11
24 – 25	10	2.26	4	2.66	6	2.05	5	1.71	5	1.71
25 – 26	14	3.17	6	4	8	2.73	7	2.39	7	2.39
26 – 27	14	3.17	4	2.66	10	3.42	7	2.39	7	2.39
27 – 28	22	4.97	10	6.66	12	4.11	11	3.76	11	3.76
28 – 29	20	4.52	8	5.33	12	4.11	10	3.42	10	3.42
29 – 30	14	3.17	4	2.66	10	3.42	7	2.39	7	2.39
Total	442	100	150	100	292	100	221	100	221	100

11.2 METODOLOGÍA APLICADA PARA LA ESTIMACIÓN DE LA EDAD

11.2.1 MÉTODOS APLICADOS AL ESTUDIO RADIOGRÁFICO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA EDAD EN SUJETOS ADULTOS

➤ CLAVÍCULA: MÉTODOS RADIOGRÁFICOS Y DE ANÁLISIS DE IMAGEN

Las radiografías se han realizado usando un generador de rayos X SEDECAL, modelo SHF 415, utilizando una pantalla MEDIUM y películas de la marca SAKURA, empleando siempre los mismos datos para que de esta forma las variaciones que se observen sean fruto de la variación real existente entre las clavículas y no consecuencia de la variación entre los datos del generador de rayos X. Los datos usados para obtener las radiografías de las clavículas son: 43 Kilovoltios, 200 miliamperios, 0,020 segundo de exposición y 120 centímetros de distancia foco-película. Para la obtención de las imágenes radiográficas se han colocado todas las clavículas en posición anteroposterior, con la finalidad de que los rayos X las atravesasen en el plano coronal. Además, todas las radiografías se han realizado utilizando un objeto de referencia (las siglas del individuo al que pertenece), para evitar modificaciones en el tamaño durante el proceso de digitalización posterior (Figuras 24 y 25).



Figuras 24 y 25. Metodología para la obtención de las imágenes radiográficas de las clavículas.

De esta forma se han obtenido las radiografías de las 332 clavículas de este estudio que posteriormente han sido sometidas a digitalización mediante un escáner radiográfico para facilitar y mejorar el trabajo. El equipo usado para este procedimiento ha sido un escáner EPSON Expression 1640 XL que es capaz de transformar las placas radiográficas en imágenes de formato JPG que permiten una mayor facilidad para trabajar con ellas. Para la digitalización se ha utilizado una resolución de 600 ppp.

Una vez obtenidas las imágenes se ha creado una base de datos de radiografías y fotografías de todas las clavículas, clasificadas por su número de individuo dentro de la colección, por el sexo y por la lateralidad de cada una de ellas.

OBTENCIÓN DE LOS VALORES MEDIOS DE GRIS

Para poder obtener los valores medios de gris en las radiografías del estudio se ha usado el programa imagen-J (versión 1.34), que es capaz de discernir entre los colores blanco y negro absoluto, ya que usa una escala de grises de 256 niveles en imágenes de 16 bits y por tanto se pueden asignar valores dependiendo del color, de tal forma que se le asigna al blanco un valor de 255 y al negro absoluto un valor de 0.

En cada una de las radiografías se han medido en la extremidad esternal (SGA) y en la extremidad acromial (AGA), los valores medios de gris, la desviación típica, el mínimo y el máximo de una sección cuadrada de área conocida, de 0.25 cm^2 , que ha sido la misma en todas las imágenes. Todas las medidas se han llevado a cabo por el mismo investigador.

Con el fin de establecer un punto de referencia en el que realizar las medidas, se ha establecido, para la extremidad esternal de las clavículas, la localización del cuadrado de área conocida en la región anterior de la clavícula, inmediatamente después de la impresión del ligamento costoclavicular, hacia la zona de articulación entre la clavícula y el manubrio del esternón. Por otro lado, para el caso de la extremidad acromial, se ha establecido la localización del cuadrado de área conocida limitando con la línea trapezoidal por su parte anterior, haciendo coincidir la esquina inferior derecha del cuadrado de área conocida en el punto medio de la línea trapezoidal (Figura 26).



Figura 26. Toma de medidas de densidad de gris en las regiones esternal y acromial.

De esta forma se puede estar seguro de que se han realizado las medidas en la misma zona anatómica en todas las clavículas, y así, se puede asumir que las variaciones que se observen en las medidas de gris serán debidas a las pérdidas de materia ósea en las clavículas y no pensar que pueden ser fruto de la mala estandarización de la toma de medida.

Estos datos han sido incluidos en una base de datos para ser sometida posteriormente a un estudio estadístico.

CÁLCULO DE LOS ÍNDICES CLAVICULARES

Además de los valores medios de gris, se ha realizado el estudio de tres índices claviculares que se han establecido previamente. El primero de ellos se denomina índice anterior (IA), y se calcula como la relación que existe entre el grosor de la cortical de la parte más anterior y el grosor total de la clavícula en el punto mediodiafisario; el segundo es el índice posterior (IP), que se obtiene de la división del grosor posterior de la cortical entre el grosor total de la clavícula en el punto medio de la diáfisis; y por último, el tercero se denomina índice total (IT), y resulta de la relación entre la suma de

los grosores de las corticales en la parte anterior y posterior y el grosor total de la clavícula en el mismo nivel que los índices anteriores (Tabla 9).

Tabla 9. Fórmulas para el cálculo de los índices claviculares.

ÍNDICE	FÓRMULA
Índice Anterior (AI)	$AI = GCAM^a / GTCM$
Índice Posterior (PI)	$PI = GCPM^b / GTCM$
Índice Total (TI)	$TI = GCAM + GCPM / GTCM^c$
^a Grosor de la cortical en la región anterior en el punto mediodiafisario ^b Grosor de la cortical en la región posterior en el punto mediodiafisario ^c Grosor total de la clavícula en el punto mediodiafisario	

El grosor de la cortical por la parte más anterior y posterior, así como el grosor total de la clavícula en el punto mediodiafisario se ha calculado usando también el programa imagen-J (versión 1.34). Para ello, primero, se ha establecido la longitud total de la clavícula, en milímetros, realizando una línea recta desde la parte más medial de la extremidad esternal hasta la parte más lateral de la extremidad acromial. El punto mediodiafisario exacto se ha establecido trazando una línea recta y perpendicular al eje longitudinal de la clavícula.

En dicho punto mediodiafisario, se han obtenido los grosores de la cortical en la parte anterior y posterior. El grosor cortical en la región anterior se ha obtenido dibujando una línea recta y perpendicular a la línea del hueso desde la superficie más anterior hasta el final de la cortical. En el lado opuesto, el grosor de la cortical en la región anterior se ha obtenido trazando una línea recta desde la superficie más posterior hasta el final de la cortical. Por su parte, el grosor total se ha obtenido sumando los grosores medidos en las regiones anterior y posterior de la clavícula en el punto mediodiafisario (Figura 27).



Figura 27. Metodología para la toma de medidas de los grosores corticales.

Con los datos obtenidos del cálculo de los índices se ha construido una base de datos que servirá para realizar un análisis estadístico posterior.

ESTUDIO DESCRIPTIVO Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los resultados obtenidos han sido sometidos a un estudio descriptivo y a un análisis estadístico para el que se ha utilizado el programa SPSS (versión 15.0).

En el estudio descriptivo se han obtenido los valores medios, la desviación típica y el error típico de las cinco variables utilizadas en el presente estudio, así como de la edad, como variable continua, separadas por sexos.

En el estudio estadístico, en primer lugar, se ha calculado el error intraobservador (fiabilidad en la toma de medidas), sobre 30 radiografías de clavículas (15 hombres y 15 mujeres), seleccionadas al azar, sobre las que se han vuelto a medir las cinco variables utilizadas en el presente estudio. Para ello se han tomado las medidas de las cinco

variables por el mismo investigador después de un intervalo de dos semanas. Con estos datos se ha calculado el Coeficiente de Correlación Intraclass (ICC) que proporciona un valor de fiabilidad en la obtención de los datos.

Por otro lado, también se ha analizado el error interobservador con el fin de averiguar el grado de repetitividad del método empleado. Para ello, un segundo observador ha tomado las medidas de las cinco variables de estudio sobre 30 radiografías de clavículas (15 hombres y 15 mujeres), seleccionadas al azar, pertenecientes a individuos de diferentes grupos etarios, que había sido previamente medidas por el investigador principal. Con estos datos se ha calculado el Coeficiente de Correlación Intraclass con el fin de demostrar la reproducibilidad de la técnica.

Para averiguar si las varianzas entre hombres y mujeres son homogéneas se ha utilizado la prueba de Levene. Además, con el fin de comprobar si existen diferencias significativas entre sexos (hombres y mujeres) se ha usado la prueba T-Student para muestras independientes. Por otro lado, para observar las diferencias significativas entre lados (derechas e izquierdas) se ha usado la prueba T-Student para muestras relacionadas.

Posteriormente, debido a los resultados obtenidos en las pruebas T-Student, se ha realizado una Correlación de Pearson, sólo utilizando las clavículas derechas, para comprobar qué variables presentan una mayor correlación con la edad de fallecimiento. Finalmente, se ha realizado una regresión múltiple por pasos sucesivos utilizando todas las variables de estudio de manera individual y combinándolas entre ellas. Para todas las pruebas estadísticas se ha establecido un porcentaje de acierto del 95% (p-valor 0.05).

Por último, se ha realizado una prueba de validación con el fin de averiguar la fiabilidad del método propuesto. Para llevarlo a cabo se seleccionaron 30 clavículas (15 hombres y 15 mujeres) que no habían sido incluidas para el desarrollo del estudio. Todas ellas pertenecían a individuos adultos identificados, mayores de 20 años, de origen español. Las clavículas fueron radiografiadas, digitalizadas y medidas siguiendo la misma metodología utilizada para la elaboración de este estudio. Los datos obtenidos se han introducido en las ecuaciones de regresión obtenidas en el método propuesto, y posteriormente la edad real de fallecimiento fue comparada con la edad estimada que proporcionaban dichas ecuaciones. En todas las ecuaciones, se ha calculado el Error

Medio de Predicción (ME), como el valor absoluto de la diferencia entre la edad real y la estimada.

➤ **LA CLAVÍCULA: ESTUDIO MORFOMÉTRICO DEL SISTEMA TRABECULAR**

El estudio morfológico se ha realizado sobre todas las radiografías obtenidas según los métodos descritos anteriormente. Sobre ellas, se han observado las posibles variaciones que aparecen como consecuencia de la edad: los cambios morfológicos a nivel sistema trabecular, las variaciones en el diámetro de las trabéculas y, la reducción de grosor y densidad de la cortical tanto en la región anterior como en la posterior.

Los parámetros que se han analizado han sido los siguientes:

- Se ha estudiado la involución en el sistema trabecular a través del aumento del diámetro trabecular, tanto en la cavidad medular, como en las extremidades esternal y acromial.
- Se ha analizado la reducción de grosor y densidad de la cortical de la clavícula tanto en la región anterior como en la posterior.

Para estudiar la involución del sistema trabecular, se ha analizado el aumento de diámetro de las trabéculas y por consiguiente la reducción de la densidad ósea de la región estudiada. La toma de medidas se ha llevado a cabo utilizando el programa Image-J (versión 1.34). Se ha estudiado este parámetro tanto en la cavidad medular, como en las extremidades esternal y acromial. Para ello se ha dividido cada clavícula en tres partes iguales trazando una línea perpendicular al eje longitudinal de la clavícula, obteniéndose así, una región esternal, una región acromial y una región diafisaria que incluya la cavidad medular (Figura 28).

Para obtener la medida del diámetro trabecular máximo y mínimo de cada trabécula completa se ha trazado una línea recta entre los puntos más alejados (máximo diámetro) y más cercanos (diámetro mínimo), atravesando el centro trabecular. Posteriormente, la observación macroscópica de cada radiografía ha permitido calcular el porcentaje de trabéculas completas que presentan un diámetro concreto en cada una de las tres

regiones de estudio. Con el fin de estandarizar la clasificación de los diámetros trabeculares se han establecido cinco categorías de 0 a 5 milímetros para las regiones correspondientes a las extremidades esternal y acromial, cada una de ellas corresponde a un intervalo de diámetros máximos. Por otra parte, para la región de la cavidad medular se han establecido cuatro categorías de 0.5 a 4.5 milímetros. Para la asignación de cada una de las clavículas a una categoría concreta se ha establecido un porcentaje mayor del 50% de trabéculas completas que presenten un diámetro específico.

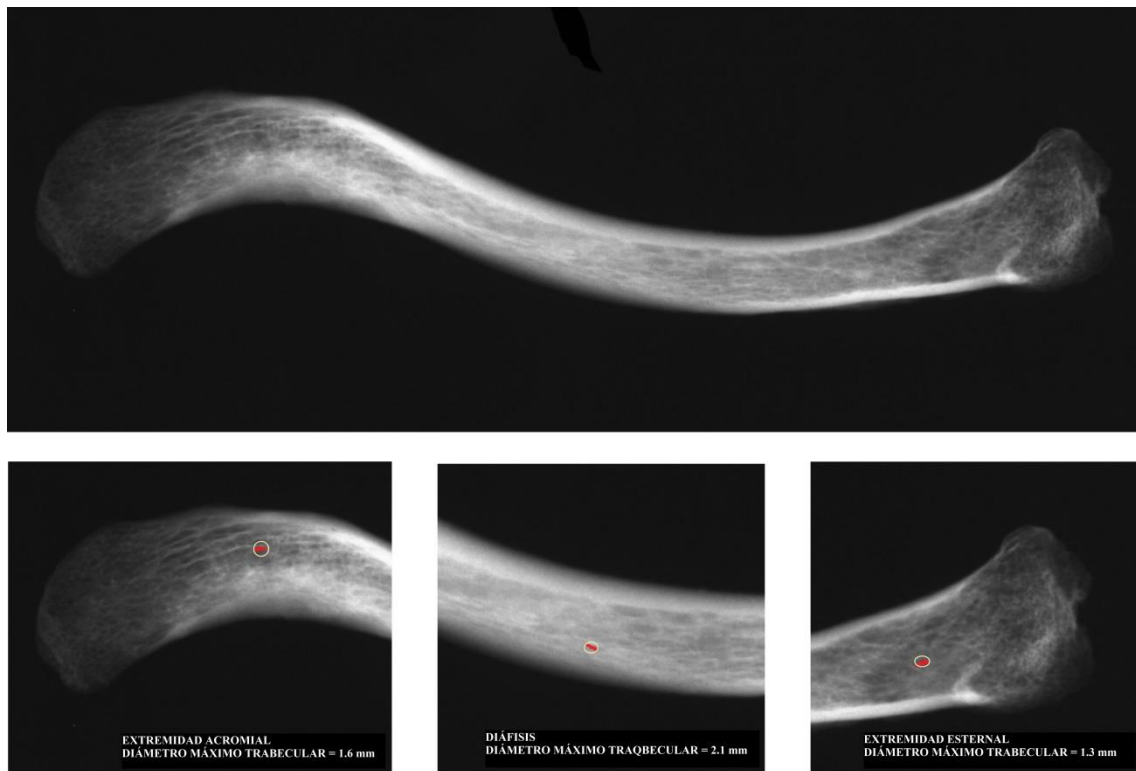


Figura 28. Metodología para la obtención de los diámetros trabeculares.

Por otro lado, el grosor de la cortical en tanto en la región anterior como en la posterior ha sido medido en el punto mediodiafisario, que se ha calculado como el punto de corte entre la recta perpendicular y el eje longitudinal de la clavícula en el punto medio de éste último. La metodología empleada para obtener el grosor cortical ha sido explicada en el capítulo “cálculo de los índices claviculares”, ver Figura 27. Gracias a esto, se han establecido cinco categorías de clasificación para el grosor de la cortical, tanto en la región anterior como en la posterior, que disminuyen desde $\frac{1}{4}$ del grosor total de la

clavícula, $\frac{1}{8}$ del grosor total, $\frac{1}{12}$ del grosor total, $\frac{1}{24}$ del grosor total, hasta la desaparición total de la cortical (Figura 29).

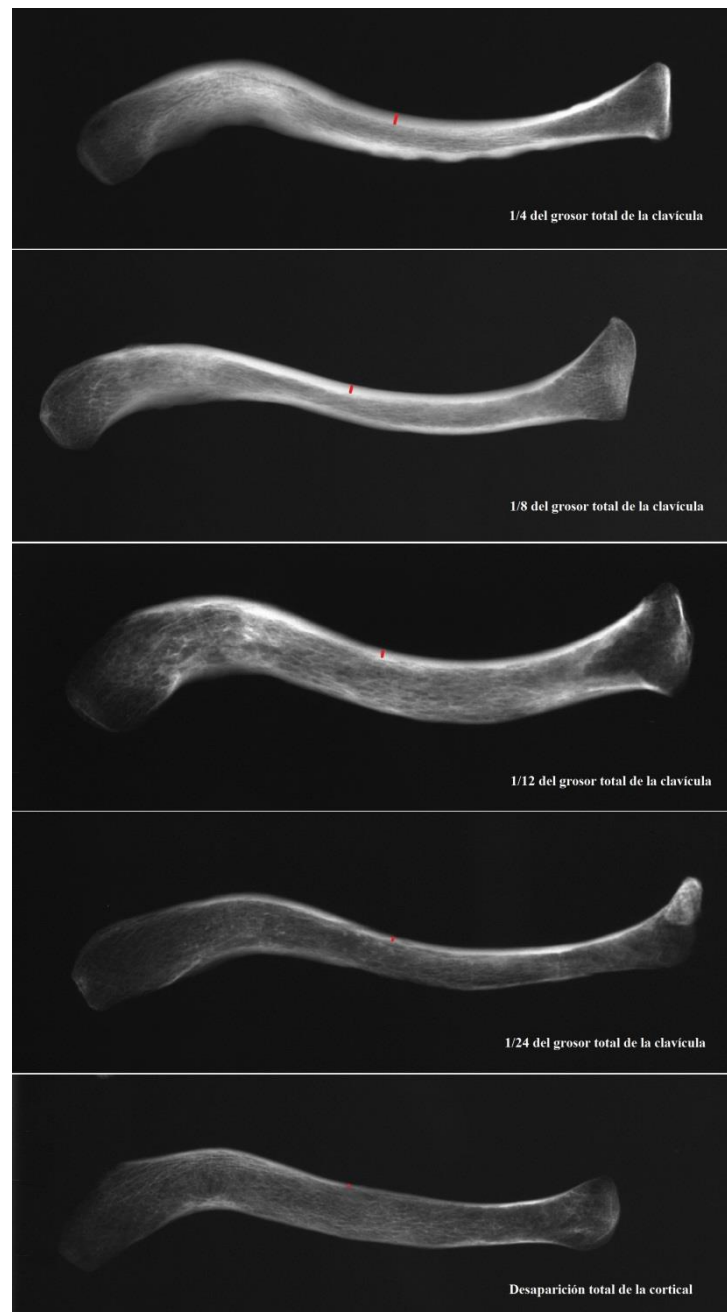


Figura 29. Diminución del grosor de la cortical.

Con los datos obtenidos se ha realizado una base de datos que ha sido sometida a un análisis estadístico.

ESTUDIO DESCRIPTIVO Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos obtenidos han sido sometidos a un estudio descriptivo y a un análisis estadístico utilizando el programa SPSS (versión 15.0).

En el estudio descriptivo se han obtenido los valores mínimo y máximo, el valor medio, y la desviación típica de las cinco variables utilizadas en el presente estudio, así como de la edad, como variable continua, separadas por sexos.

En el estudio estadístico, en primer lugar, se ha calculado el error intraobservador (fiabilidad en la toma de medidas), sobre 30 radiografías de clavículas (15 hombres y 15 mujeres), seleccionadas al azar, sobre las que se han vuelto a medir las cinco variables utilizadas en el presente estudio. Para ello se han tomado las medidas de las cinco variables por el mismo investigador después de un intervalo de dos semanas. Con estos datos se ha calculado el Coeficiente de *Kappa* que proporciona un valor de fiabilidad en la obtención de los datos.

Por otro lado, también se ha analizado el error interobservador con el fin de averiguar el grado de repetitividad del método empleado. Para ello, un segundo observador ha tomado las medidas de las cinco variables de estudio sobre 30 radiografías de clavículas (15 hombres y 15 mujeres), seleccionadas al azar, pertenecientes a individuos de diferentes grupos etarios, que había sido previamente medidas por el investigador principal. Con estos datos se ha calculado el Coeficiente *Kappa* con el fin de demostrar la reproducibilidad de la técnica.

Para averiguar si las varianzas entre hombres y mujeres son homogéneas se ha utilizado la prueba de Levene. Además, con el fin de comprobar si existen diferencias significativas entre sexos (hombres y mujeres) se ha utilizado la prueba T-Student para muestras independientes. Por otro lado, para observar las diferencias significativas entre lados (derechas e izquierdas) se ha utilizado la prueba T-Student para muestras relacionadas.

Debido a los resultados obtenidos de las pruebas T-student (muestras dependientes e independientes), la muestra ha sido segmentada en cuanto a sexos y lateralidad.

Posteriormente, la muestra completa ha sido dividida en ocho grupos de edad (de diez años) basados en las diferentes medidas que se han obtenido a través del estudio macroscópico y métrico de las radiografías. Gracias a esto se han desarrollado patrones degenerativos para cada una de las variables de estudio: diámetro trabecular en la extremidad esternal, diámetro trabecular en la extremidad acromial, diámetro trabecular en la cavidad medular, grosor de la cortical en la región anterior y grosor de la cortical en la región posterior. Dentro de cada grupo de edad se ha calculado el porcentaje de aparición de la variable en función del sexo y de la lateralidad.

Además, se ha realizado una prueba de análisis de la varianza (ANOVA), con el fin de comparar las medias de los diferentes grupos de clasificación (diámetros trabeculares y grosor cortical) y averiguar si existen diferencias entre ellos. Posteriormente, al demostrarse que existen diferencias inter-grupos se ha realizado una comparación múltiple *post-hoc* de Bonferroni para averiguar qué grupos son los que tienen medias más distintas.

Finalmente se han desarrollado unos patrones descriptivos de madurez ósea utilizando todas las variables con el fin de poder clasificar las clavículas en diferentes grupos de edad a través de la observación macroscópica.

Por último, se ha realizado una prueba de validación con el fin de averiguar la fiabilidad del método propuesto. Para llevarlo a cabo se seleccionaron 30 clavículas (15 hombres y 15 mujeres) que no habían sido incluidas para el desarrollo del estudio. Todas ellas pertenecían a individuos adultos identificados, mayores de 20 años, de origen español. Las clavículas fueron radiografiadas, digitalizadas y medidas siguiendo la misma metodología utilizada para la elaboración de este estudio. Los datos obtenidos a partir del estudio métrico y macroscópico se han utilizado para obtener una estimación de la edad de cada individuo que posteriormente fue comparada con la edad real de fallecimiento. Con estos datos, se ha calculado el Error Medio de Predicción (ME), como el valor absoluto de la diferencia entre la edad real y la estimada.

Además, sobre estas 30 clavículas también se ha estimado la edad utilizando las descripciones propuestas que estuvieron basadas en los patrones degenerativos con el

fin de averiguar si la clasificación era correcta o no, y que diferencia habría entre la edad real y la edad estimada por el método propuesto. Para ello, también se calculó el Error Medio de Predicción (ME).

➤ **ESCÁPULA: ESTUDIO RADIOGRÁFICO Y DE ANÁLISIS DE IMAGEN**

Igual que en el caso de las radiografías de clavículas, las radiografías de escápulas se han realizado utilizando el mismo generador de rayos X SEDECAL, modelo SHF 415, utilizando una pantalla MEDIUM y películas de la marca SAKURA. Se han empleado siempre los mismos datos para controlar las variables externas: 47 Kilovoltios, 200 miliamperios, 0,020 segundo de exposición y 120 centímetros de distancia foco-película. En cada película radiográfica se han obtenido las radiografías de cuatro escápulas a la vez (dos derechas y dos izquierdas). Para la obtención de las mismas se han colocado todas las escápulas en posición anteroposterior, con la finalidad de que los rayos X las atraviesen perpendicularmente en el plano coronal. Además, todas las radiografías se han realizado utilizando un objeto de referencia (las siglas del individuo al que pertenece y la letra que designa la lateralidad), para evitar modificaciones en el tamaño durante el proceso de digitalización posterior.

Todas las placas radiográficas han sido posteriormente digitalizadas mediante el uso de un escáner de radiografías marca EPSON Expression 1640 XL, a una resolución de 600 ppp y convertidas en imágenes de formato JPG, con la finalidad de poder trabajar con ellas con mayor facilidad. En ningún caso se ha alterado el tamaño real de las imágenes (Figuras 30 y 31).



Figuras 30 y 31. Proceso de digitalización de las placas radiográficas

Con todas las radiografías digitales se ha construido una base de datos, clasificada por número de individuo en la colección, sexo, edad y lateralidad, para su posterior estudio macroscópico.

ESTUDIO MORFOMÉTRICO

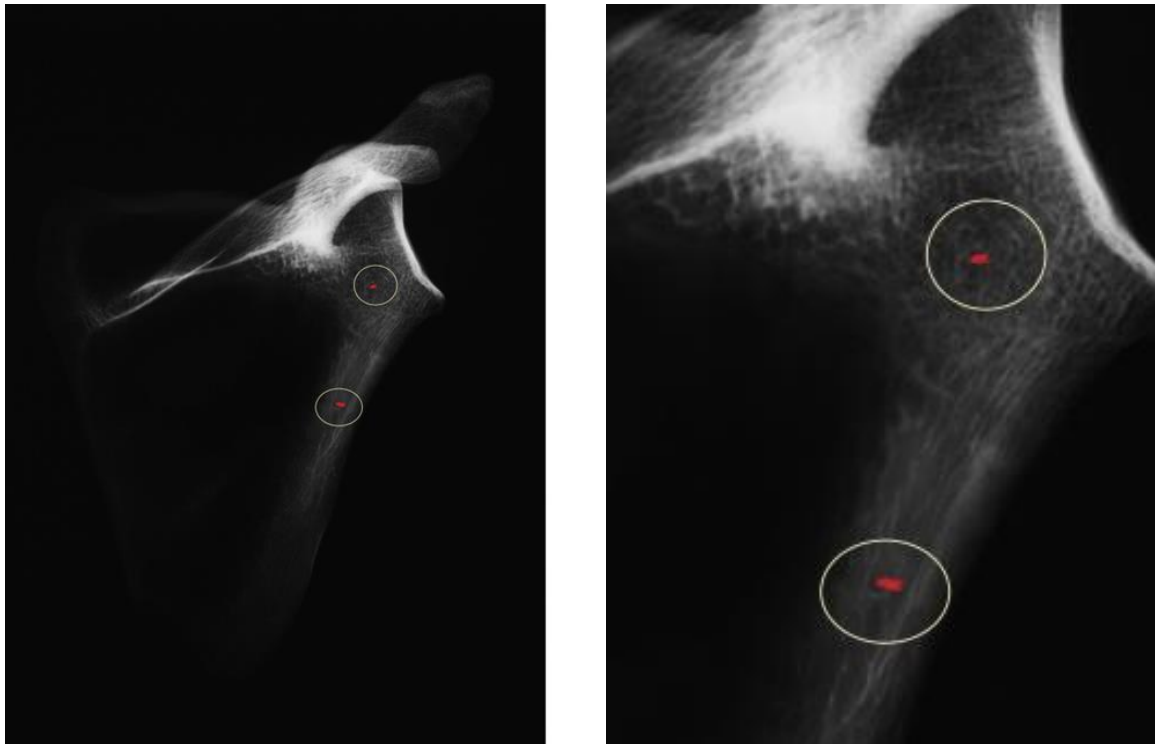
El estudio morfológico se ha realizado sobre todas las radiografías obtenidas según los métodos descritos anteriormente. Sobre ellas, se han observado las posibles variaciones morfológicas que aparecen como consecuencia de la edad a nivel trabecular en dos regiones anatómicas: el cuello de la escápula, y el borde axilar o lateral.

Se han estudiado dos parámetros:

- Las variaciones morfológicas del sistema trabecular en las dos regiones de estudio.
- La disposición y arquitectura del sistema trabecular en las dos regiones anatómicas elegidas.

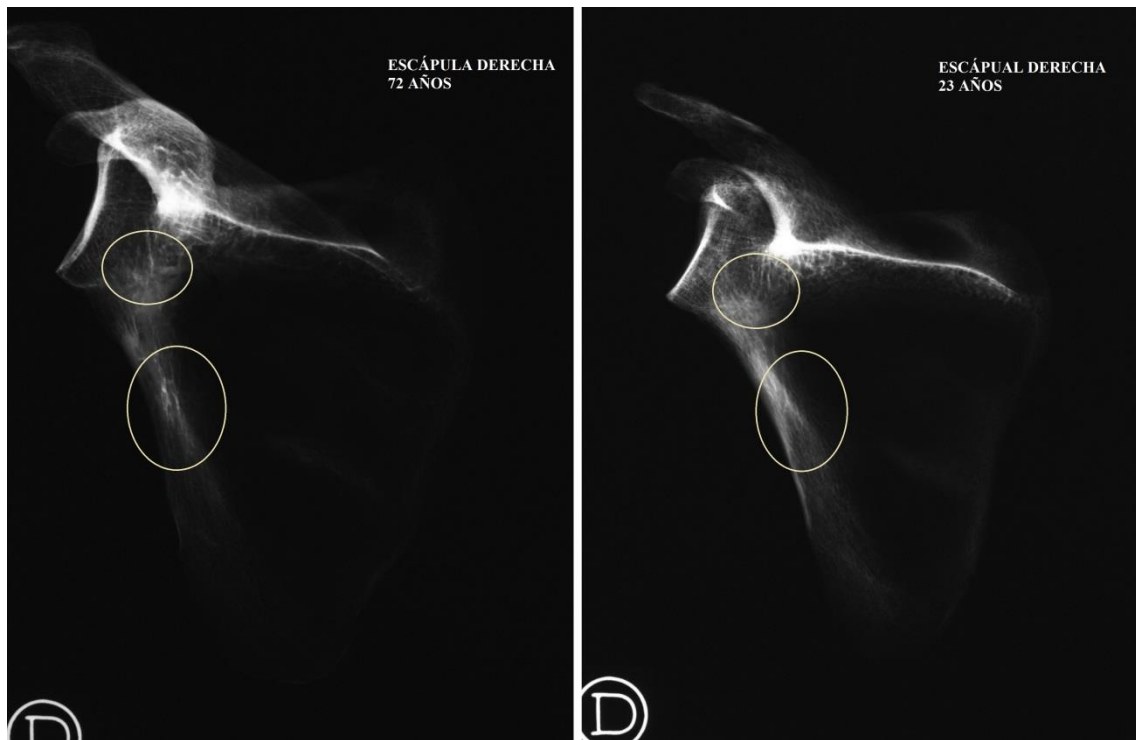
Para estudiar el aumento de diámetro trabecular y por consiguiente la reducción de la densidad ósea de la región estudiada se ha utilizado el programa Image-J (versión 1.34). Gracias a él, se ha realizado un estudio macroscópico del sistema trabecular en cada una de las regiones de estudio. Se han excluido del estudio las regiones que por su disposición anatómica se encontraban superpuestas a otras estructuras, como el acromion y la apófisis coracoides, y sólo se han analizado las partes que no presentaban superposición. Esta precaución se ha tenido en cuenta con el fin de no cometer errores que pudieran deberse de la superposición de tejidos.

Para obtener la medida del diámetro trabecular máximo y mínimo de cada trabécula completa se ha trazado una línea recta entre los puntos más alejados (máximo diámetro) y más cercanos (diámetro mínimo), atravesando el centro trabecular. Gracias a esto se ha podido analizar el aumento de diámetro de las trabéculas en cada región anatómica; se han establecido 3 categorías: trabéculas pequeñas (< 2 mm), trabéculas medianas (2 – 3 mm), y trabéculas grandes (> 3 mm) (Figuras 32 y 33).



Figuras 32 y 33. Obtención de la medida del diámetro trabecular.

Además se ha analizado la arquitectura del sistema trabecular, estudiando la disposición paralela o dispersa de las líneas de trabéculas que conforman cada región anatómica estudiada, para posteriormente asociarlas con el aumento de la edad. Para este parámetro se han establecido cuatro categorías: disposición paralela perfecta, pérdida incipiente de estructura paralela, disposición dispersa, y disposición dispersa con regiones ausentes de trabéculas (Figuras 34 y 35).



Figuras 34 y 35. Arquitectura del sistema trabecular en el cuello y borde axilar de la escápula.

Con los datos obtenidos se ha realizado una base de datos que ha sido sometida a un análisis descriptivo y estadístico.

Además, se ha creado un patrón descriptivo basado tanto en el proceso degenerativo del sistema trabecular como en su arquitectura, dividido por grupos de edad.

ESTUDIO DESCRIPTIVO Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos obtenidos han sido sometidos a un estudio descriptivo y a un análisis estadístico utilizando el programa SPSS (versión 15.0).

En el estudio descriptivo se han obtenido los valores medios, la desviación típica y el error típico de las cuatro variables utilizadas en el presente estudio (diámetro trabecular y arquitectura trabecular, en el cuello y borde lateral de la escápula), así como de la edad, como variable continua, separadas por sexos.

En el estudio estadístico, en primer lugar, se ha calculado el error intraobservador (fiabilidad en la toma de medidas), sobre 30 radiografías de escápulas (15 hombres y 15 mujeres), seleccionadas al azar, sobre las que se han vuelto a analizar las cuatro variables utilizadas en el presente estudio. Para ello se han estudiado las diez variables por el mismo investigador después de un intervalo de dos semanas. Con estos datos se ha calculado el Coeficiente de Correlación Intraclass (ICC) que proporciona un valor de fiabilidad en la obtención de los datos.

Por otro lado, también se ha analizado el error interobservador con el fin de averiguar el grado de repetitividad del método empleado. Para ello, un segundo observador ha analizado las cuatro variables de estudio sobre 30 radiografías de escápulas (15 hombres y 15 mujeres), seleccionadas al azar, pertenecientes a individuos de diferentes grupos etarios, que habían sido previamente estudiadas por el investigador principal. Con estos datos se ha calculado el Coeficiente de Correlación Intraclass con el fin de demostrar la reproducibilidad de la técnica.

Para averiguar si las varianzas entre hombres y mujeres son homogéneas se ha utilizado la prueba de Levene. Además, con el fin de comprobar si existen diferencias significativas entre sexos (hombres y mujeres) se ha utilizado la prueba T-Student para muestras independientes. Por otro lado, para observar las diferencias significativas entre lados (derechas e izquierdas) se ha utilizado la prueba T-Student para muestras relacionadas.

Los resultados de la prueba T-Student (muestras dependientes e independientes) han sido definitivos para la segmentación de la muestra en función del sexo y de la

lateralidad. De esta manera, se ha realizado un análisis estadístico llamado (ANOVA), con el fin de averiguar si existían diferencias significativas entre los diferentes grupos de clasificación.

Posteriormente, la muestra completa ha sido dividida en ocho grupos de edad (de diez años) basados el estudio macroscópico y métrico de las radiografías. Gracias a esto se han desarrollado patrones degenerativos, en función del diámetro y arquitectura trabecular, para cada una de las variables de estudio: cuello de la escápula y borde axilar. Dentro de cada grupo de edad se ha calculado el porcentaje de aparición de la variable en función del sexo y de la lateralidad. Finalmente se han desarrollado unos patrones descriptivos de madurez ósea utilizando todas las variables con el fin de poder clasificar las clavículas en diferentes grupos de edad.

Por último, se ha realizado una prueba de validación con el fin de averiguar la fiabilidad del método propuesto. Para llevarlo a cabo se seleccionaron 30 escápulas (15 hombres y 15 mujeres) que no habían sido incluidas para el desarrollo del estudio. Todas ellas pertenecían a individuos adultos identificados, mayores de 20 años, de origen español. Las escápulas fueron radiografiadas, digitalizadas y medidas siguiendo la misma metodología utilizada para la elaboración de este estudio. Los datos obtenidos a partir del estudio métrico y macroscópico se han utilizado para obtener una estimación de la edad de cada individuo que posteriormente fue comparada con la edad real de fallecimiento. Con estos datos, se ha calculado el Error Medio de Predicción (ME), como el valor absoluto de la diferencia entre la edad real y la estimada.

Además, sobre estas 30 escápulas también se ha estimado la edad utilizando las descripciones propuestas con el fin de averiguar si la clasificación era correcta o no, y que diferencia habría entre la edad real y la edad estimada. Para ello, también se calculó el Error Medio de Predicción (ME).

➤ **ESTERNÓN: ESTUDIO RADIOGRÁFICO Y DE ANÁLISIS DE IMAGEN**

Igual que en los dos casos anteriores, las radiografías de los esternones se han realizado utilizando el mismo generador de rayos X SEDECAL, modelo SHF 415, utilizando una pantalla MEDIUM y películas de la marca SAKURA. Se han empleado siempre los mismos datos: 43 Kilovoltios, 200 miliamperios, 0,020 segundo de exposición y 120 centímetros de distancia foco-película. En cada película radiográfica se han obtenido las radiografías de cuatro esternones a la vez. Para la obtención de las mismas se han colocado los tres elementos que conforman el esternón en posición anatómica (algunos elementos se encontraban fusionados y otro no). Además, todos ellos se han colocado en posición anteroposterior con la finalidad de que los rayos X los atravesasen perpendicularmente en el plano coronal. Con el fin de establecer un sistema de referencia, todas las radiografías se han realizado utilizando un objeto común (las siglas del individuo al que pertenece) para evitar modificaciones en el tamaño durante el proceso de digitalización posterior.

Todas las placas radiográficas han sido posteriormente digitalizadas mediante el uso de un escáner de radiografías marca EPSON Expression 1640 XL, a una resolución de 600 ppp, y convertidas en imágenes de formato JPG, con la finalidad de poder trabajar con ellas con mayor facilidad. En ningún caso se ha alterado el tamaño real de las imágenes.

Con todas las radiografías digitales se ha construido una base de datos, clasificada por número de individuo en la colección, sexo, edad y lateralidad, para su posterior estudio macroscópico.

ESTUDIO MORFOLÓGICO DE LAS IMÁGENES RADIOGRÁFICAS

El estudio morfológico se ha desarrollado sobre todas las radiografías obtenidas según la metodología descrita anteriormente. Sobre ellas, se han analizado las variaciones morfológicas que sufren los tres elementos que conforman el esternón, y se han relacionado con el avance de la edad.

Los parámetros de estudio han sido los siguientes:

- Fusión de la articulación que forman el manubrio y el cuerpo del esternón (articulación manubrioesternal).
- Fusión de la articulación que forman el cuerpo del esternón y el apéndice xifoides (articulación xifoesternal).

Para el estudio de la fusión de las tres partes que forman el esternón se han establecido tres categorías para cada articulación: ausencia de fusión, cuando no se aprecia ningún signo de sinostosis; fusión parcial, cuando se evidencia algún signo o alguna región unida; y fusión completa, cuando la unión entre ambas partes es completa (Figura 36).

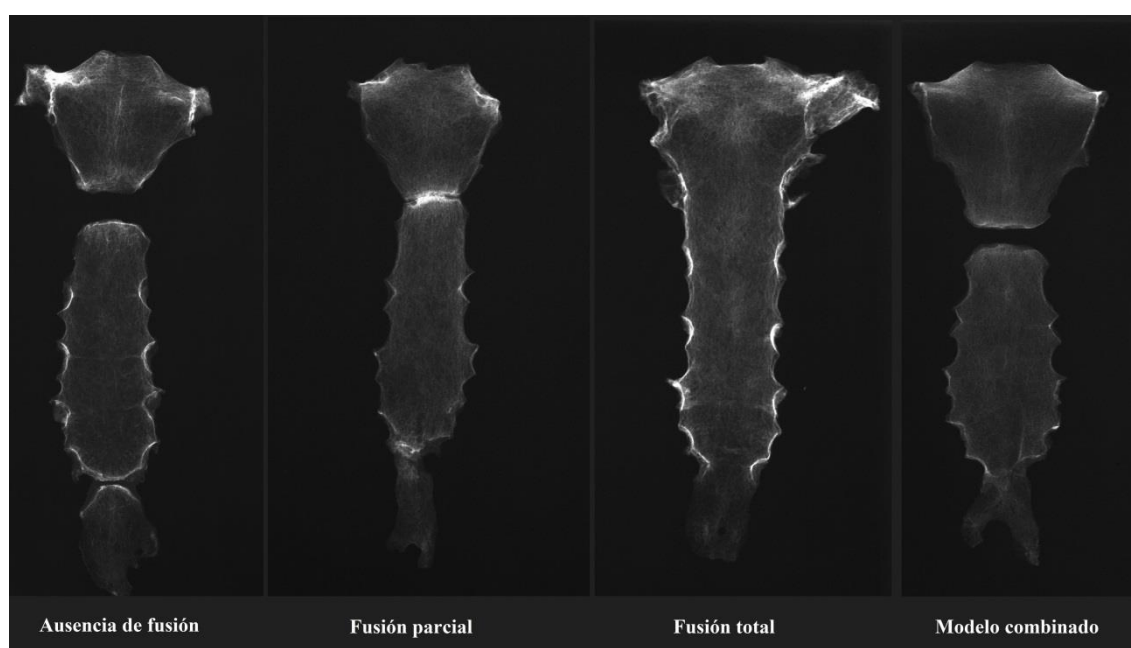


Figura 36. Diferentes grados de fusión de las articulaciones manubrioesternal y xifoesternal.

Con los datos obtenidos se ha realizado una base de datos que ha sido sometida a un análisis estadístico.

ESTUDIO DESCRIPTIVO Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos obtenidos han sido sometidos a un estudio descriptivo y a un análisis estadístico utilizando el programa SPSS (versión 15.0).

En el estudio descriptivo se han obtenido los valores medios, la desviación típica y el error típico de las diez variables utilizadas en el presente estudio, así como de la edad, como variable continua, separadas por sexos.

En el estudio estadístico, en primer lugar, se ha calculado el error intraobservador (fiabilidad en la toma de medidas), sobre 30 radiografías de esternones (15 hombres y 15 mujeres), seleccionadas al azar, sobre las que se han vuelto a analizar las cinco variables utilizadas en el presente estudio. Para ello se han estudiado las dos variables por el mismo investigador después de un intervalo de dos semanas. Con estos datos se ha calculado el Coeficiente de Correlación Intraclass (ICC) que proporciona un valor de fiabilidad en la obtención de los datos.

Por otro lado, también se ha analizado el error interobservador con el fin de averiguar el grado de repetitividad del método empleado. Para ello, un segundo observador ha analizado las dos variables de estudio sobre 30 radiografías de esternones (15 hombres y 15 mujeres), seleccionadas al azar, pertenecientes a individuos de diferentes grupos etarios, que habían sido previamente estudiadas por el investigador principal. Con estos datos se ha calculado el Coeficiente de Correlación Intraclass con el fin de demostrar la reproducibilidad de la técnica.

Para averiguar si las varianzas entre hombres y mujeres son homogéneas se ha utilizado la prueba de Levene. Además, con el fin de comprobar si existen diferencias significativas entre sexos (hombres y mujeres) se ha usado la prueba T-Student para muestras independientes.

Los resultados de la prueba T-Student han indicado que se debería segmentar la muestra en función del sexo. De esta manera, se ha desarrollado un análisis estadístico de un factor (ANOVA) para averiguar si existen diferencias significativas entre grupos de clasificación y su relación con la edad.

Posteriormente, la muestra completa ha sido dividida en ocho grupos de edad (de diez años) basados el grado de fusión de la articulación manubrioesternal y de la articulación xifoesternal. Dentro de cada grupo de edad se ha calculado el porcentaje de aparición de la variable en función del sexo.

Por último, se ha realizado una prueba de validación con el fin de averiguar la fiabilidad del método propuesto. Para llevarlo a cabo se seleccionaron 20 esternones (10 hombres

y 10 mujeres) que no habían sido incluidos para el desarrollo del estudio. Todos ellas pertenecían a individuos adultos identificados, mayores de 20 años, de origen español. Los esternones fueron radiografiados, digitalizados y analizados siguiendo la misma metodología utilizada para la elaboración de este estudio. Los datos obtenidos a partir del estudio macroscópico se han utilizado para obtener una estimación de la edad de cada individuo que posteriormente fue comparada con la edad real de fallecimiento. Con estos datos, se ha calculado el Error Medio de Predicción (ME), como el valor absoluto de la diferencia entre la edad real y la estimada.

11.2.2 MÉTODOS APLICADOS AL ESTUDIO ECOGRÁFICO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA MAYORÍA DE EDAD LEGAL EN ESPAÑA

MÉTODOS ULTRASONOGRÁFICOS Y DE ANÁLISIS DE IMAGEN

La obtención de las imágenes ecográficas se ha realizado sobre una muestra de personas, de entre 5 y 30 años de edad, que voluntariamente, han accedido a colaborar en este estudio científico.

La toma de datos se realizó de forma individualizada, anónima y salvaguardando en todo momento la intimidad de los voluntarios. Previamente a la toma de imágenes ecográficas, todos los voluntarios o los padres/ tutores legales en caso de ser menores de edad, fueron informados sobre la finalidad del estudio, los investigadores que tendrían acceso a las ecografías, la inocuidad de la técnica empleada, la protección de sus datos, así como del tiempo que se iba a emplear en la toma de imágenes. Después de recibir toda esta información, todos los voluntarios mayores de edad o los padres/tutores legales en caso de ser menores de edad, firmaron un consentimiento informado que se trata de un modelo adaptado a este proyecto de investigación, en el que se informa por escrito sobre todos los puntos citados anteriormente “Artículo 4 de la Ley 14/2007 del 3 de Julio de Investigación Biomédica”. Todos estos consentimientos informados quedaron archivados en una base de datos dentro de la propia institución a la que sólo tienen acceso los investigadores participantes en este estudio “Ley Orgánica 15/1999 del 13 de Diciembre de Protección de Datos de Carácter Personal”. Ver ANEXO II (consentimiento informado).

Una vez informados, los voluntarios sólo tienen que sentarse en una silla manteniendo una posición recta y relajarse mientras se le realizan las ecografías en las dos regiones anatómicas que han sido seleccionadas para este estudio: la extremidad esternal de la clavícula y la epífisis proximal del húmero (ambos lados). La selección de estas regiones anatómicas ha estado basada en dos aspectos: la fácil localización y acceso de ambas, así como en su tiempo de fusión, en torno a los 18 años en el caso de la epífisis proximal del húmero, y en torno a los 20 años en el caso de la extremidad esternal de la clavícula.

Para la toma de las imágenes ecográficas se ha utilizado un equipo de ultrasonido MyLab 60 en el formato B-Mode que tiene incorporada una sonda lineal LA 523, con un rango de frecuencia de 4 a 13 MHz, que se encuentra ubicado en la sala de exploración del Departamento de Toxicología y Legislación Sanitaria de la Universidad Complutense de Madrid (Figuras 37 y 38). Además, para la obtención de las ecografías se ha utilizado un gel transductor de ultrasonidos (Transonic Gel. TELIC S.A.)



Figuras 37 y 38. Proceso de obtención de las imágenes ecográficas.

Todas las imágenes ecográficas se han obtenido con la sonda en posición perpendicular a la línea superficial del hueso en la región de las epífisis, primero en el eje longitudinal y segundo en el transversal, con el fin de observar la metáfisis desde varios lugares y obtener así la mejor imagen posible para poder clasificarla en los diferentes grupos (Figura 39).



Figura 39. Posición de la sonda en toma de imágenes ecográficas.

Sobre cada voluntario se han tomado tres imágenes de manera transversal y tres de manera longitudinal de la extremidad esternal de la clavícula y de la epífisis proximal del húmero, de ambos lados del cuerpo. De esta manera, se minimiza el error que se puede cometer al tomar una única imagen ecográfica. Así, se han obtenido, de cada individuo, 12 ecografías. Se ha seleccionado la mejor de cada lado y región anatómica, hasta obtener un número total de 4 ecografías por individuo.

Estas cuatro imágenes han sido incluidas en una base de datos en función de la región anatómica, el sexo, la lateralidad y la edad de cada voluntario. Posteriormente, utilizando el software MyLabDesk 3.04, han sido sometidas a un estudio morfológico basado en el patrón de cierre metafisario.

➤ **PATRÓN DE CIERRE METAFISARIO EN LA EXTREMIDAD ESTERNAL DE LA CLAVÍCULA**

Para la clasificación de cada imagen ecográfica dentro una categoría concreta, se han establecido cuatro fases de maduración y fusión epifisaria de la extremidad esternal de la clavícula.

El diseño de las fases para este estudio ha estado basado en la propuesta de Schulz *et alii*, en 2008, que a su vez estuvo basada en el estudio de Webb y Suchey, del 1985, en

el que se establecían cuatro fases: fase 1, en la que no se observaba la epífisis esternal; fase 2, en la que sí se encontraba presente la epífisis aunque no presentaba signos de fusión; fase 3, en la que se evidenciaba la fusión parcial de epífisis y diáfisis; y fase 4, donde la fusión entre ambas partes era completa.

La descripción e ilustración, de cada estadio de fusión, propuestos para este estudio se muestran a continuación:

FASE 0: El centro de osificación no es visible. Se aprecia que la extremidad esternal de la clavícula finaliza como una línea recta (Figura 40).

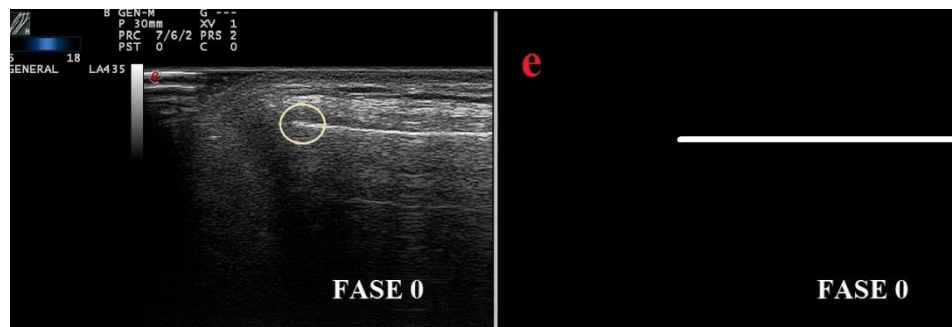


Figura 40. Cierre epifisario de la extremidad esternal de la clavícula. Fase 0.

FASE 1: Aparece el centro de osificación que dará lugar a la epífisis esternal de la clavícula. Se manifiesta como un punto blanco que aparece tras una interrupción de la diáfisis, normalmente, aunque no siempre, no se encuentra alineado con la línea de la diáfisis sino que se sitúa unos milímetros más abajo. Se aprecia una separación entre la diáfisis y la epífisis de entre 3 mm y 1cm (Figura 41).

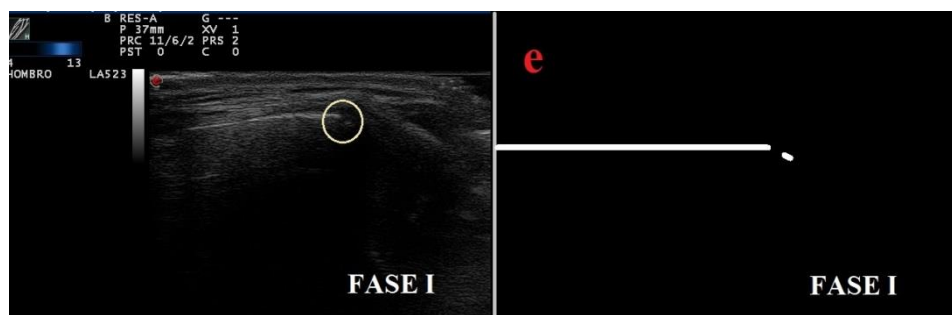


Figura 41. Cierre epifisario de la extremidad esternal de la clavícula. Fase 1.

FASE 2: El centro de osificación sigue siendo apreciable y además de éste, que siempre debe estar presente, pueden localizarse otros núcleos de osificación que son observables por debajo de la línea de la diáfisis clavicular, justo debajo de la metáfisis. La epífisis esternal (núcleo de osificación principal) se encuentra alineada con la línea de la diáfisis. La separación entre la diáfisis y la epífisis se hace más pequeña llegando a estar casi fusionadas ($< 3\text{mm}$) (Figura 42).

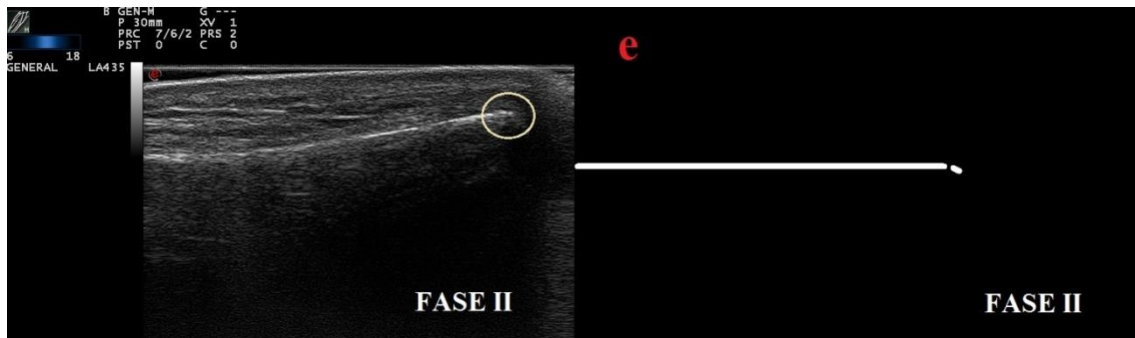


Figura 42. Cierre epifisario de la extremidad esternal de la clavícula. Fase 2.

FASE 3: El centro de osificación se encuentra totalmente fusionado. Se aprecia que la extremidad esternal de la clavícula finaliza como una línea que normalmente es curva con tendencia descendente. Algunas veces termina en una línea recta y puede confundirse con la fase 0 (Figura 43).

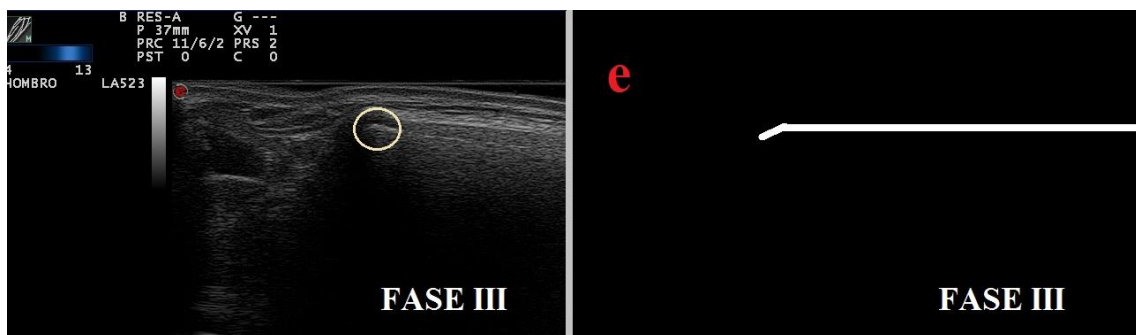


Figura 43. Cierre epifisario de la extremidad esternal de la clavícula. Fase 3.

➤ PATRÓN DE CIERRE METAFISARIO EN LA EPÍFISIS PROXIMAL DEL HÚMERO

Para el caso del patrón de maduración y fusión del cartílago metafisario de la epífisis proximal del húmero se han establecido seis estadios de desarrollo. En este caso las diferentes fases han estado basadas en la observación macroscópica de las imágenes ecográficas ya que no existe ningún estudio previo que haya utilizado esta técnica esta región anatómica.

La descripción e ilustración, de cada estadio de fusión, propuestos para este estudio se muestran a continuación:

FASE 0: Se observan tres estructuras óseas: la epífisis proximal del húmero, la línea longitudinal que delimita la diáfisis y la línea transversal que separa la metáfisis. La epífisis proximal del húmero se aprecia como una estructura ovalada que, normalmente, se encuentra por debajo de la línea que seguiría la prolongación de la diáfisis. Además, se encuentra separada de la diáfisis por más de 1 cm de cartílago metafisario (Figura 44).

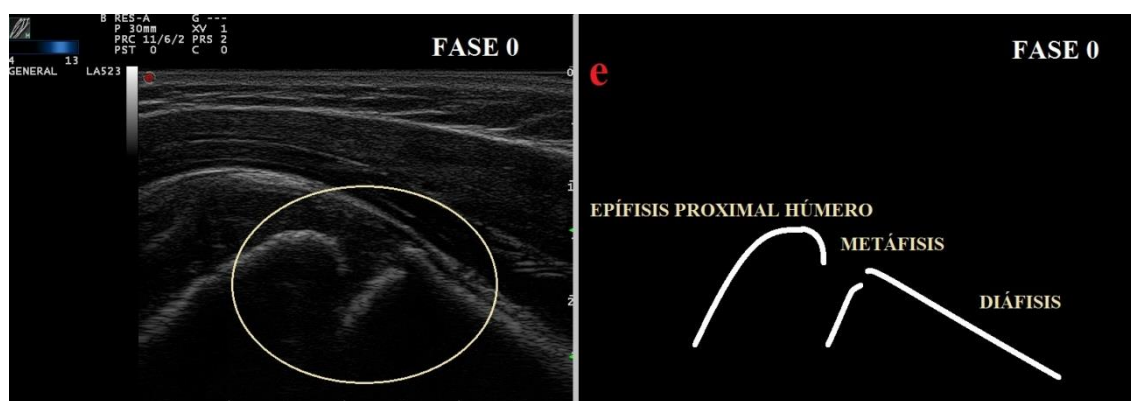


Figura 44. Cierre epifisario de la extremidad proximal del húmero. Fase 0.

FASE I: En esta fase también se observan las tres estructuras ósea descritas en la fase 0. En este caso, la epífisis proximal del húmero aparece como una estructura más o menos circular (un cuarto de circunferencia), un poco por debajo de la línea que formaría la

prolongación de la diáfisis. Por su parte, la separación metafisaria se reduce bastante, siendo menor de 1cm, y pudiendo acercarse hasta los 2 mm a la diáfisis (Figura 45).

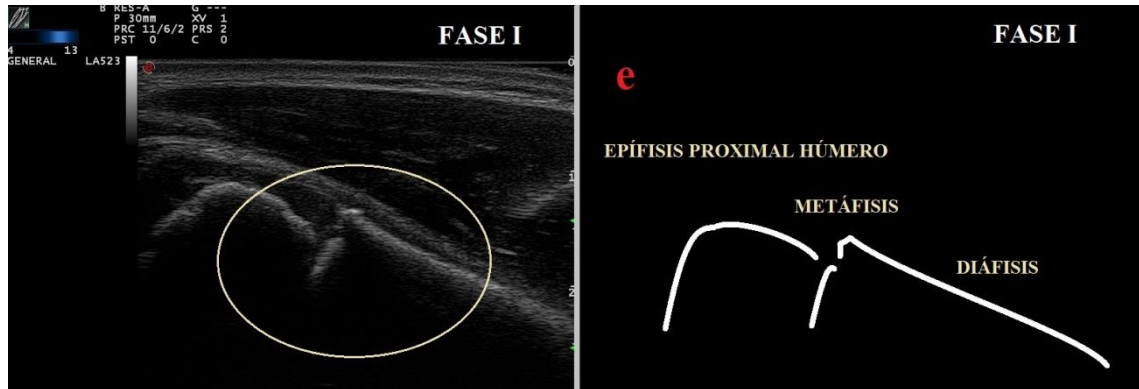


Figura 45. Cierre epifisario de la extremidad proximal del húmero. Fase1.

FASE II: En esta fase todavía aparecen las tres estructuras óseas, aunque la región que delimita longitudinal y transversalmente la diáfisis está muy cerca y puede parecer que se funden. La epífisis proximal sigue manteniendo su forma de un cuarto de circunferencia, aunque en esta fase se encuentra a la misma altura que la línea que se formaría de la prolongación de la diáfisis. El espacio metafisario no varía mucho desde la fase anterior, se puede observar desde 1cm hasta 2mm (Figura 46).

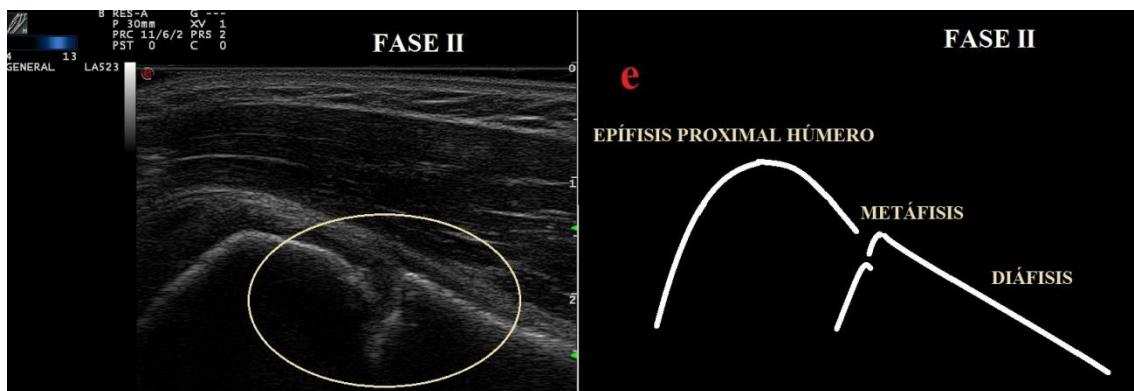


Figura 46. Cierre epifisario de la extremidad proximal del húmero. Fase 2.

FASE III: En esta fase ya no se observan tres estructura óseas, sino que las regiones que delimitaban la diáfisis se han fusionado formando una única estructura diafisaria. Por su parte, la epífisis proximal sigue manteniendo su forma de un cuarto de circunferencia aunque esta vez un poco más abierto formando un ángulo más obtuso. La región metafisaria no varía mucho, observándose desde 1cm hasta 2mm de separación (Figura 47).

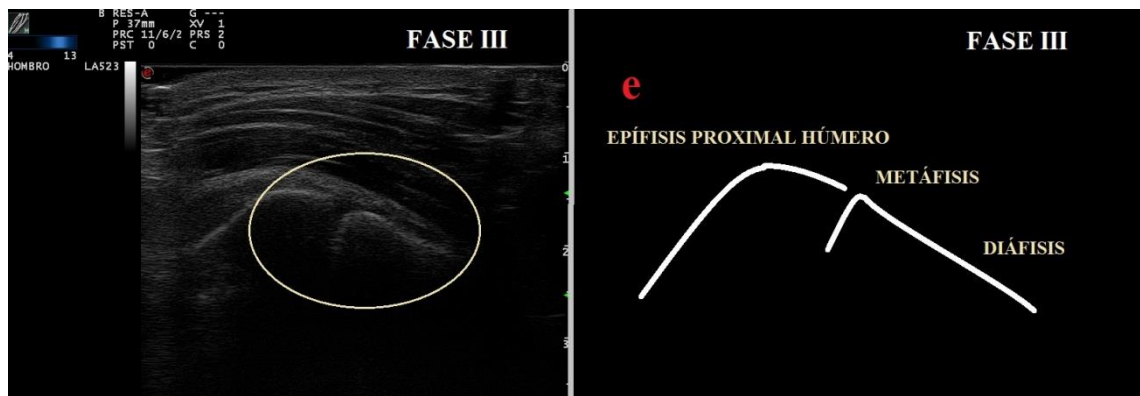


Figura 47. Cierre epifisario de la extremidad proximal del húmero. Fase 3.

FASE IV: En esta fase la región metafisaria se reduce, observándose, en todos los casos, un espacio menor de 3mm. La epífisis proximal sigue manteniendo su forma, igual que en la fase anterior, mientras que la diáfisis sufre un acortamiento de la rama inferior que delimitaba la parte transversal de la metafisis. Ambas estructuras se encuentran alineadas (Figura 48).

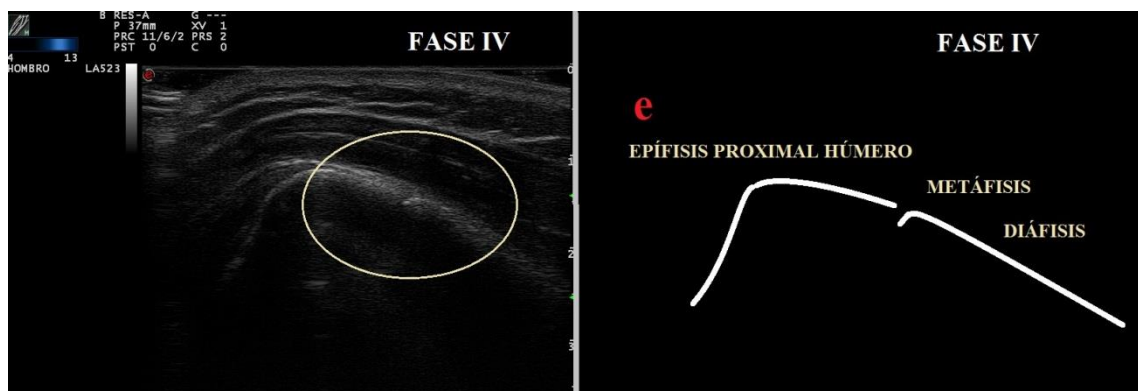


Figura 48. Cierre epifisario de la extremidad proximal del húmero. Fase 4.

FASE V: En esta fase se observa que el desarrollo madurativo ha culminado. Tan sólo se observa una única estructura ósea que se manifiesta como una línea curvada en la región de la epífisis proximal y rectilínea en la región diafisaria. No se aprecian disrupciones en ningún punto de esta línea. La metáfisis ha desaparecido por completo (Figura 49).

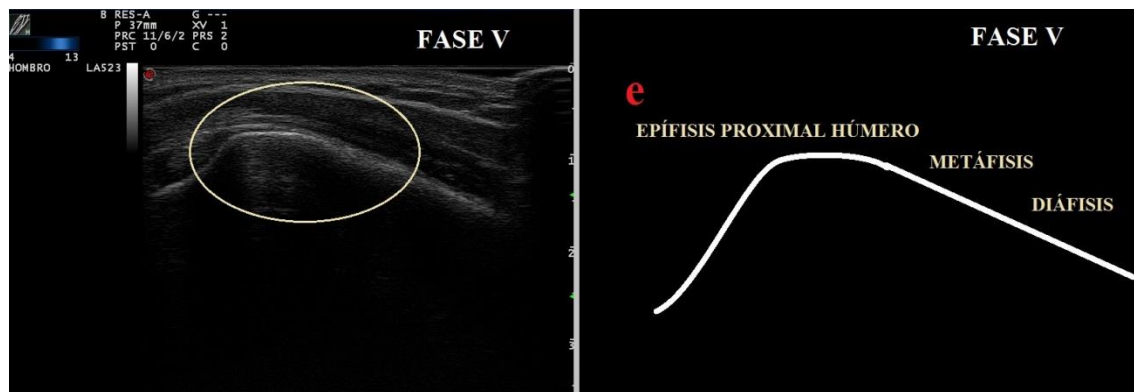


Figura 49. Cierre epifisario de la extremidad proximal del húmero. Fase 5.

ESTUDIO DESCRIPTIVO Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos obtenidos han sido sometidos a un estudio descriptivo y a un análisis estadístico utilizando el programa SPSS (versión 15.0). La muestra ha sido dividida, en todo momento, según cada una de las regiones anatómicas; se han realizado los análisis descriptivos y estadísticos por separado, en la extremidad esternal de la clavícula y en la epífisis proximal del húmero.

En el estudio descriptivo se han obtenido los valores medios, la desviación típica y el error típico de las dos variables discretas (fusión metafisaria de la extremidad esternal de la clavícula y de la epífisis proximal del húmero) utilizadas en el presente estudio, así como de la edad, como variable continua, separadas por sexos.

En el estudio estadístico, en primer lugar, se ha calculado el error intraobservador, con el fin de averiguar la fiabilidad en la toma de medidas, sobre 20 ecografías de clavículas y sobre 20 ecografías de húmero (20 hombres y 20 mujeres), seleccionadas al azar, sobre las que se han vuelto a estudiar las dos variables utilizadas en el presente estudio. Para ello se han estudiado estas ecografías por el mismo investigador después de un

intervalo de dos semanas. Con estos datos se ha calculado el Coeficiente de Correlación Intraclass (ICC) que proporciona un valor de fiabilidad en la obtención de los datos.

Por otro lado, también se ha analizado el error interobservador con el fin de averiguar el grado de repetitividad del método empleado. Para ello, tres observadores diferentes al investigador principal han analizado las variables de estudio sobre 30 ecografías de clavículas y húmeros (15 hombres y 15 mujeres), seleccionadas al azar, pertenecientes a individuos de diferentes grupos etarios, que habían sido previamente medidas por el investigador principal. Con estos datos se ha calculado el Coeficiente de Correlación Intraclass con el fin de demostrar la reproducibilidad de la técnica.

Para averiguar si las varianzas entre hombres y mujeres son homogéneas se ha utilizado la prueba de Levene. Además, con el fin de comprobar si existen diferencias significativas entre sexos (hombres y mujeres) se ha utilizado la prueba T-Student para muestras independientes. Por otro lado, para observar las diferencias significativas entre lados (derechas e izquierdas) se ha usado la prueba T-Student para muestras relacionadas.

Debido a los resultados obtenidos de las pruebas T-student (muestras dependientes e independientes), la muestra ha sido segmentada en cuanto a sexos y lateralidad, en ambas regiones anatómicas.

Posteriormente, se ha realizado la prueba de análisis de la varianza (ANOVA), con el fin de comparar las medias de los diferentes grupos de clasificación (diferentes fases de fusión) en cada una de las regiones anatómicas, para así averiguar si existen diferencias entre ellos.

Además, dentro de cada grupo de edad, en el que se hayan obtenido diferencias significativas, se ha calculado el porcentaje de individuos que presentan un estado de fusión concreto, en cada región anatómica, en función del sexo y de la lateralidad.

Por último, se ha realizado una prueba de validación con el fin de averiguar la fiabilidad del método propuesto. Para llevarlo a cabo se seleccionaron 30 ecografías de clavículas y húmeros (15 hombres y 15 mujeres) que no habían sido incluidas para el desarrollo del estudio. Todas ellas de voluntarios de entre 5 y 30 años, pertenecientes a la población española. Las imágenes ecográficas fueron tomadas y analizadas siguiendo la misma metodología utilizada para la elaboración de este estudio. De esta manera, se

realizó un estudio por región anatómica para obtener una estimación de la edad de cada voluntario que, posteriormente, fue comparada con la edad real del mismo. Con estos datos, se ha calculado el Error Medio de Predicción (ME), como el valor absoluto de la diferencia entre la edad real y la estimada.

12. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados divididos en dos partes: los resultados relativos a los estudios realizados para la estimación de la edad de la muerte en sujetos adultos a través de restos esqueletizados, y los resultados relativos a la estimación de la mayoría de edad legal en sujetos subadultos vivos.

En cada capítulo se detallan los resultados obtenidos del estudio descriptivo así como del análisis estadístico que se ha utilizado en cada caso y que han sido desarrollados utilizando el programa estadístico SPSS (versión 15.0).

Además, en el caso de la estimación de la edad de la muerte en sujetos adultos también se incluyen los estudios morfológicos basados en patrones degenerativos de la clavícula y de la escápula.

Por su parte, en el caso de la estimación de la mayoría de edad legal en sujetos vivos se incluye un protocolo de aplicación para la estimación de la edad en casos forenses a través de técnicas ultrasonográficas.

12.1 RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS RELATIVOS A LA ESTIMACIÓN DE LA EDAD DE LA MUERTE EN SUJETOS ADULTOS.

12.1.1 RESULTADOS OBTENIDOS EN LA CLAVÍCULA: ESTUDIO RADIOGRÁFICO Y DE ANÁLISIS DE IMAGEN.

➤ RESULTADOS DEL ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LAS VARIABLES DE ESTUDIO

Las siguientes tablas muestran los resultados del análisis descriptivo de las cinco variables que han sido objeto de estudio: densidad de gris en la extremidad esternal (SGA), densidad de gris en la extremidad acromial (AGA), índice anterior (AI), índice posterior (PI) e índice total (TI).

Los resultados se muestran separados por sexos (Tabla 10).

Tabla 10. Resultados del estudio descriptivo de las variables.

Variable	Lado	Hombres				Mujeres			
		N = 172	Media	SD*	TE**	N = 160	Media	SD*	TE**
SGA	D	86	68.60	9.25	1.48	80	67.92	8.86	1.48
	I	86	68.21	9.46	1.53	80	67.77	8.75	1.37
AGA	D	86	46.95	4.20	1.14	80	47.05	4.91	1.26
	I	86	46.72	4.63	1.09	80	47.98	4.22	1.21
AI	D	86	0.14	0.06	0.01	80	0.13	0.06	0.01
	I	86	0.13	0.06	0.01	80	0.12	0.05	0.01
PI	D	86	0.19	0.05	0.01	80	0.19	0.06	0.01
	I	86	0.19	0.06	0.01	80	0.18	0.06	0.01
TI	D	86	0.33	0.09	0.01	80	0.34	0.10	0.02
	I	86	0.34	0.10	0.01	80	0.33	0.11	0.02

SGA (Media de Gris en la Extremidad Eterna), AGA (Media de gris en la Extremidad Acromial), AI (Índice Anterior), PI (Índice Posterior), TI (Índice Total)

*Desviación típica

**Error típico

Como se observa en la tabla anterior, la muestra de estudio es equitativa en cuanto al género, obteniéndose un número muestral de 172 varones y 160 mujeres.

Además, la media de edad de las mujeres (66.32 años \pm 17.20) es 13 años más alta que la media de los varones (53.31 años \pm 18.86), lo que indica que la proporción de mujeres de edad avanzada es mayor que la de hombres.

➤ ESTUDIO ESTADÍSTICO: RESULTADOS DE LA FIABILIDAD EN LA TOMA DE MEDIDAS Y REPRODUCIBILIDAD DE LA TÉCNICA

La siguiente tabla muestra los resultados del error intraobservador que sirve para averiguar la fiabilidad en la toma de medidas, y los resultados del error interobservador que aportan información sobre la repetitividad de la técnica empleada.

Para conocer qué grado de fiabilidad y reproducibilidad tiene la técnica empleada se ha realizado una prueba llamada Índice de Correlación Intraclass (ICC). Se ha utilizado, además, un nivel de significación del 95%.

Tabla 11. Resultados del Índice de correlación Intraclass (ICC).

Variables	N	Error intraobservador		Error Interobservador	
		ICC	Intervalo de Confianza 95% ^a	ICC	Intervalo de Confianza 95% ^a
SGA	30	0.458	0.266 – 0.513	0.265	-0.046 – 0.398
AGA	30	0.571	0.344 – 0.608	0.349	0.118 – 0.496
AI	30	0.795	0.682 – 0.896	0.761	0.608 – 0.821
PI	30	0.762	0.633 – 0.846	0.739	0.654 – 0.843
TI	30	0.803	0.715 – 0.897	0.792	0.698 – 0.890

SGA (Media de Gris en la Extremidad Esternal), AGA (Media de gris en la Extremidad Acromial), AI (Índice Anterior), PI (Índice Posterior), TI (Índice Total)

^a Nivel de significación (0.05)

El Índice de Correlación Intraclass es un estadístico que sirve para averiguar el grado de fiabilidad y reproducibilidad que existe en la toma de medidas y en la repetitividad de la técnica empleada. El valor del ICC oscila en 0 y 1, de tal manera que cuanto más se aproxime a 1 significará que el grado de fiabilidad es mayor.

Los resultados de la tabla anterior muestran que tanto en el caso del Error Intraobservador, como en el caso del Error Interobservador, los valores de ICC de las variables relacionadas con la densidad de gris son menores de 0.6, mientras que los valores de ICC que relacionan las variables implicadas en el cálculo de los índices claviculares son siempre mayores de 0.7 (Tabla 11).

➤ ESTUDIO ESTADÍSTICO: COMPARACIÓN DE MEDIAS EN FUNCIÓN DE LA LATERALIDAD Y EL GÉNERO

Antes de realizar un estudio estadístico es necesario conocer las características de la población de estudio. En primer lugar, se sabe que la muestra de estudio sigue una distribución normal ya que $n > 30$. Y, en segundo lugar, se ha realizado una prueba de Levene que se utiliza para conocer la homocedasticidad de la muestra (varianzas homogéneas). Gracias a estas características se puede someter la muestra a un estudio estadístico basado en pruebas paramétricas.

Con el fin de comprobar si existen diferencias significativas en función de la lateralidad y del sexo, en cada una de las variables de estudio, se han realizado dos análisis estadísticos basados en la comparación de medias. Para comprobar las diferencias existentes entre lados se ha utilizado una prueba T-student para muestras relacionadas, mientras que para comprobar si existen diferencias significativas entre sexos se ha realizado una prueba T-student para muestras independientes.

Tabla 12. Resultados de las pruebas T-student para muestras independientes y para muestras relacionadas.

Variables	Test de Levene		T-student Independientes				T-student Relacionadas				
	F	p^a	T	p^a	SD ^b	SE ^c	X (R-L) ^d	SD ^b	SE ^c	t	p^a
SGA	2.69	0.10	1.15	0.25	2.48	2.17	-0.26	10.08	1.79	-1.98	0.06
AGA	0.21	0.64	-0.94	0.35	-1.60	1.71	-1.4	7.60	1.50	2.90	0.17
AI	0.29	0.59	2.99	0.00	0.04	0.01	0.02	0.06	0.01	0.40	0.69
PI	4.43	0.14	0.93	0.35	0.01	0.01	0.01	0.07	0.01	1.49	0.14
TI	5.49	0.12	1.79	0.07	0.04	0.02	0.00	0.10	0.01	1.01	0.31

SGA (Media de Gris en la Extremidad Eterna), AGA (Media de gris en la Extremidad Acromial), AI (Índice Anterior), PI (Índice Posterior), TI (Índice Total)

^aNivel de significación (0.05)

^bDesviación Típica

^cError Típico

^dDiferencias entre lado derecho e izquierdo en cm

Los resultados de la prueba de Levene que se muestran en la tabla anterior muestran que las varianzas son homogéneas en todas las variables de estudio ($p > 0.05$) por lo que se cumple el supuesto de homocedasticidad.

Por otro lado, los resultados de la prueba T-student para muestras independientes muestran que hay diferencias significativas en una variable de estudio, el índice anterior ($p < 0.05$). Sin embargo, en el caso de los resultados obtenidos para la prueba T-student para muestras relacionadas se observa que no hay diferencias significativas en ninguna variable de estudio ($p > 0.05$) (Tabla 12).

Por estas razones, se ha decidido segmentar la muestra y dividirla en función del sexo, pero no de la lateralidad.

➤ ESTUDIO ESTADÍSTICO: CORRELACIÓN Y REGRESIÓN MÚLTIPLE

La correlación es un análisis estadístico que permite conocer el grado de relación que existe entre las variables de estudio y la variable de agrupación, en este caso, la edad.

Para poder conocer el tipo de relación se ha utilizado la Correlación de Pearson, con un nivel de significación del 95%. Los resultados se muestran divididos por sexos.

Tabla 13. Resultados de la correlación de Pearson. Sexo masculino.

HOMBRES		EDAD	SGA	AGA	AI	PI	TI
EDAD	Correlación de Pearson	1	-0.553	-0.372	-0.648	-0.678	-0.703
	P^a	0	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
SGA	Correlación de Pearson	-0.553	1	0.343	0.478	0.375	0.358
	P^a	0.001		0	0	0	0
AGA	Correlación de Pearson	-0.372	0.343	1	0.211	0.664	0.726
	P^a	0.001	0		0.008	0	0
AI	Correlación de Pearson	-0.648	0.478	0.211	1	0.162	0.172
	P^a	0.001	0	0.008		0.043	0.031
PI	Correlación de Pearson	-0.678	0.375	0.664	0.162	1	0.891
	P^a	0.001	0	0	0.043		0
TI	Correlación de Pearson	-0.703	0.358	0.726	0.172	0.891	1
	P^a	0.001	0	0	0.031	0	

SGA (Media de Gris en la Extremidad Estatal), AGA (Media de gris en la Extremidad Acromial), AI (Índice Anterior), PI (Índice Posterior), TI (Índice Total)

^anivel de significación

Tabla 14. Resultados de la Correlación de Pearson. Sexo femenino.

MUJERES		EDAD	SGA	AGA	AI	PI	TI
EDAD	Correlación de Pearson	1	-0.573	-0.349	-0.682	-0.534	-0.632
	P	0	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
SGA	Correlación de Pearson	-0.573	1	0.389	0.666	0.247	0.327
	P	0.001		0	0	0.006	0
AGA	Correlación de Pearson	-0.349	0.666	1	0.258	0.135	0.214
	P	0.001	0		0.004	0.013	0
AI	Correlación de Pearson	-0.682	0.389	0.258	1	0.856	0.937
	P	0.001	0	0.004		0.043	0.031
PI	Correlación de Pearson	-0.534	0.247	0.856	0.135	1	0.972
	P	0.001	0.006	0	0.013		0
TI	Correlación de Pearson	-0.632	0.327	0.937	0.214	0.972	1
	P	0.001	0	0	0.017	0	

SGA (Media de Gris en la Extremidad Estatal), AGA (Media de gris en la Extremidad Acromial), AI (Índice Anterior), PI (Índice Posterior), TI (Índice Total)

^anivel de significación

Los resultados de la Correlación de Pearson muestran que, para todas las variables, los resultados son negativos, lo que indica que la edad de los individuos decrece a medida que aumenta el valor de las variables de estudio. Por otro lado, cuando las correlaciones son positivas significa que tanto la edad como el valor de la variable aumentan conjuntamente.

Para el caso de los hombres, las variables que tiene una correlación más fuerte con la edad son: el índice total ($r = -0.703$; $p < 0.001$); el índice posterior ($r = -0.678$; $p < 0.001$) y el índice anterior ($r = -0.648$; $p < 0.001$). Además, los resultados muestran que las variables que se relacionan con la densidad de gris presentan correlaciones más bajas con la edad: media de gris en la extremidad esternal ($r = -0.553$; $p < 0.001$), y media de gris en la extremidad acromial ($r = -0.372$; $p < 0.001$) (Tabla 13).

En el caso de las mujeres, la Correlación de Pearson muestra los siguientes valores para cada una de las variables estudiadas: índice anterior ($r = -0.682$; $p < 0.001$), índice total ($r = -0.632$; $p < 0.001$); media de gris en la extremidad esternal ($r = -0.57$; $p < 0.001$); índice posterior ($r = -0.534$; $p < 0.001$); y por último, como peor predictor de edad, media de gris en la extremidad acromial ($r = -0.349$; $p < 0.001$) (Tabla 14).

Tras conocer cómo se correlacionan unas variables con otras, se ha realizado un análisis de regresión lineal múltiple utilizando las cinco variables de estudio, individualmente y combinadas, usando el modo de selección por pasos sucesivos, para evaluar el grado de fiabilidad que tienen para predecir la edad. Para este análisis se ha utilizado un nivel de significación del 95%.

Los resultados se muestran separados por sexos:

Tabla 15. Resultados de la regresión múltiple. Sexo masculino.

Variable	r^2	SD ^a	Ecuaciones de regresión
AI**	0.72	13.04	Edad = 78.179 – 172.379 AI
PI	0.68	14.04	Edad = 91.399 – 206.082 PI
TI	0.70	13.57	Edad = 85.780 – 100.448 TI
SGA	0.55	15.91	Edad = 90.592 – 0.550 SGA
AGA	0.37	17.73	Edad = 75.678 – 0.495 AGA
AI + SGA**	0.78	11.86	Edad = 95.251 – 0.309 SGA – 143.582 AI
PI+ SGA	0.75	12.66	Edad = 107.783-0.346 SGA – 166.433 PI
TI + SGA	0.77	12.13	Edad = 103.654 – 0.344 SGA – 82.783 TI
AI + AGA	0.76	12.35	Edad = 90.897 – 0.309 AGA – 161.562 AI
PI + AGA	0.73	13.13	Edad = 105.569 – 0.358 AGA – 192.849 PI
TI + AGA	0.75	12.72	Edad = 99.667 – 0.344 AGA – 94.093 TI
AI + SGA +PI**	0.79	11.66	Edad = 100.426 – 105.993 AI – 0.295 SGA –62.285 PI
AI + SGA + PI + AGA**	0.80	11.47	Edad = 104.842 – 102.833 AI – 0.231 SGA – 66.575 PI – 0.182 AGA

SGA (Media de Gris en la Extremidad Esternal), AGA (Media de gris en la Extremidad Acromial), AI (Índice Anterior), PI (Índice Posterior), TI (Índice Total)

** Mejor combinación de variables según la selección por pasos sucesivos

^a Desviación típica

En la tabla anterior se muestran los resultados obtenidos en el análisis de regresión lineal múltiple para el caso de los varones (Tabla 15).

Los resultados que presentan dos asteriscos son los que proporciona el estadístico como mejor variable individual y mejores combinaciones. En este caso la variable que mejor actúa a nivel individual es el índice anterior ($r^2 = 0.72$; $p < 0.001$; $SD = 13.04$) que explica un 72% de información, seguido del índice total ($r^2 = 0.70$; $p < 0.01$; $SD = 13.57$) y del índice posterior ($r^2 = 0.68$; $p < 0.01$; $SD = 14.04$). En cuanto a la combinación de variables, la que proporciona el mayor porcentaje de información, un 80%, es la suma del índice anterior, índice posterior y media de gris en las extremidades esternal y acromial ($r^2 = 0.80$; $p < 0.001$; $SD = 11.47$). La siguiente combinación que explica un 79% de información para la predicción de la edad es la ecuación que incluye la suma de todas las variables anteriores a excepción de la media de gris en la extremidad acromial ($r^2 = 0.79$; $p < 0.001$; $SD = 11.66$). Por último, la suma del índice

anterior y la media de gris en la extremidad esternal proporciona un 78% de información ($r^2 = 0.78$; $p < 0.001$; SD = 11.86).

Gráfico 1. Recta de regresión para la variable Índice Anterior. Sexo Masculino.

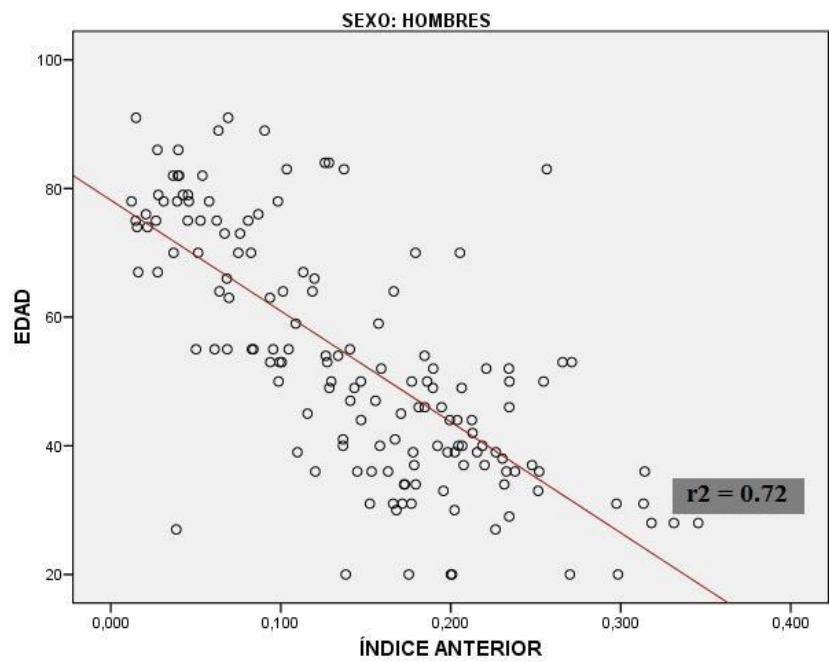


Gráfico 2. Recta de regresión para la variable Índice Posterior. Sexo masculino.

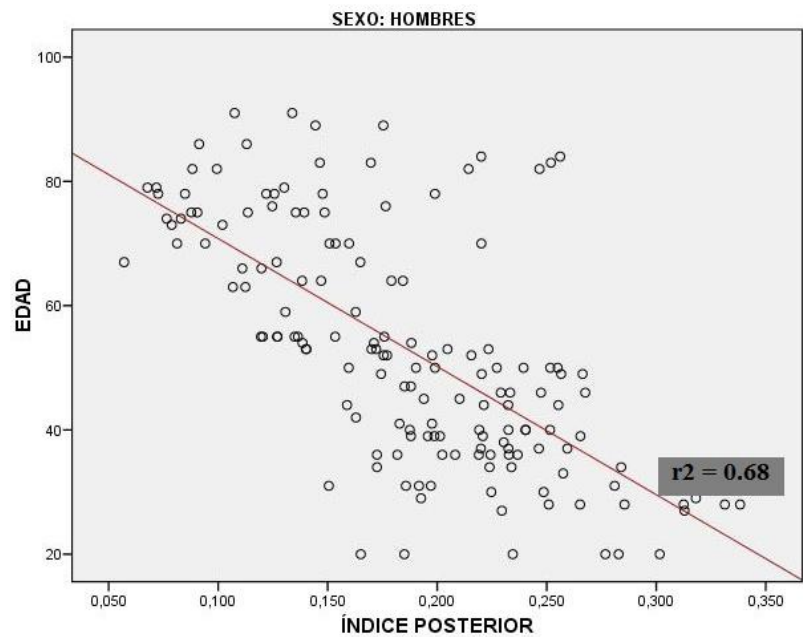


Gráfico 3. Recta de regresión para la variable Índice Total. Sexo masculino.

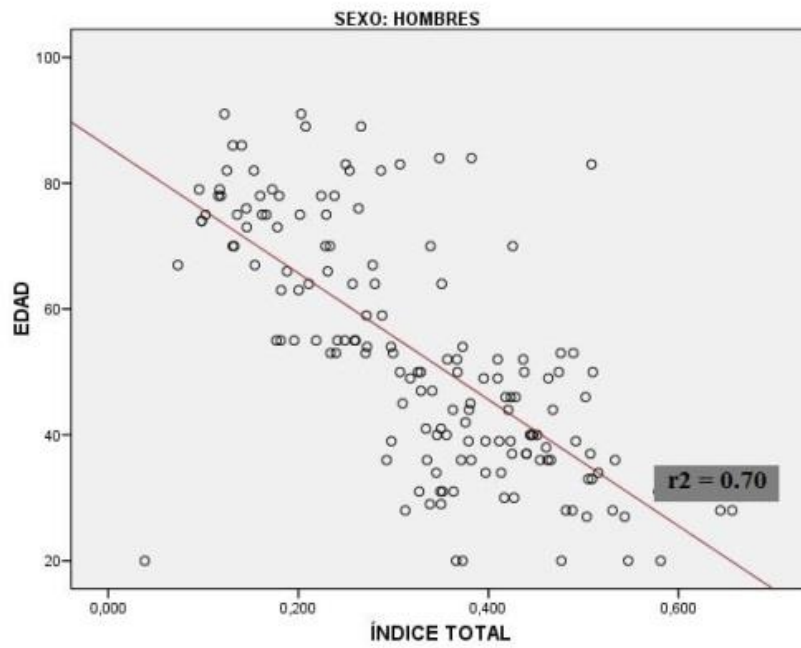


Gráfico 4. Recta de regresión para la variable Media de Gris Externa. Sexo masculino.

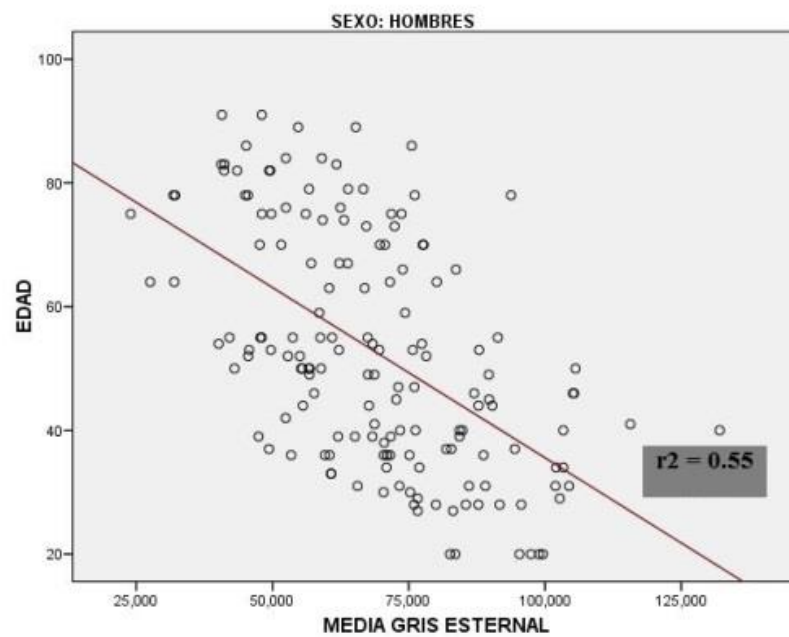
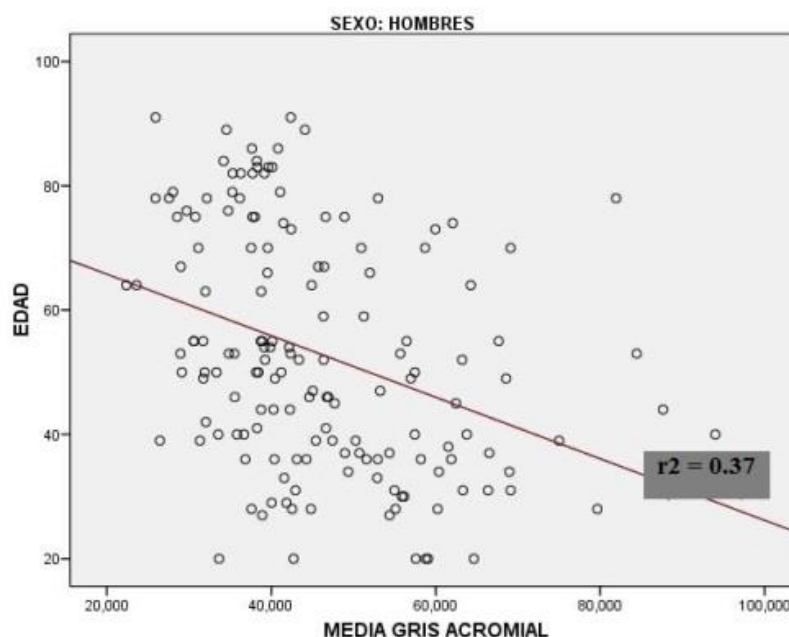


Gráfico 5. Recta de regresión para la variable Media de Gris Acromial. Sexo masculino.



Las gráficas anteriores incluyen las rectas de regresión de las cinco variables de estudio, para el caso de los hombres, con respecto a la edad (Gráficos 1, 2, 3, 4 y 5).

A continuación se muestran los resultados del estudio de regresión para el caso de mujeres (Tabla 16):

Tabla 16. Resultados de la Regresión Múltiple. Sexo femenino.

Variable	r^2	SD ^a	Ecuaciones de Regresión
AI	0.63	13.96	Edad = 77.206 – 98.724 AI
PI	0.68	13.09	Edad = 94.402 – 168.910 PI
TI**	0.73	11.88	Edad = 89.316 – 83.776 TI
SGA	0.47	15.79	Edad = 99.746 – 0.513 SGA
AGA	0.35	16.79	Edad = 86.997 – 0.444 SGA
AI + SGA	0.73	11.80	Edad = 89.248 – 0.127 SGA – 137.855 AI
PI+ SGA	0.71	12.75	Edad = 104.923 – 0.217 SGA – 146.083 PI
TI + SGA**	0.75	11.91	Edad = 96.679 – 0.134 SGA – 79.071 TI
AI + AGA	0.73	11.89	Edad = 85.442 – 0.081 AGA – 144.504 AI
PI + AGA	0.69	12.95	Edad = 100.626 – 0.169 AGA – 157.786 PI
TI + AGA	0.75	12.02	Edad = 92.975 – 0.083 AGA – 83.437 TI

SGA (Media de Gris en la Extremidad Eterna), AGA (Media de gris en la Extremidad Acromial), AI (Índice Anterior), PI (Índice Posterior), TI (Índice Total)

** Mejor combinación de variables utilizando la selección por pasos sucesivos

^a Desviación típica

Para el caso de las mujeres, los resultados que tienen dos asteriscos también son los que se obtienen por el propio estadístico como mejor combinaciones de variables. Como en el caso anterior, también los índices claviculares son los que mejor información proporcionan para el estudio de la edad. Como variable individual la que mejor predice la edad en sujetos adultos es el índice total, con un 73% de información ($r^2 = 0.73$; $p < 0.001$; SD = 11.78), seguido del índice posterior ($r^2 = 0.68$; $p < 0.001$; SD = 13.09) y del índice anterior ($r^2 = 0.63$; $p < 0.001$; SD = 13.96). En cuanto a la combinación de variables, la mayor de todas es la suma entre el índice total y la media de gris en la extremidad esternal que proporciona una información del 75% ($r^2 = 0.75$; $p < 0.001$; SD = 11.91).

Gráfico 6. Recta de regresión para la variable Índice Anterior. Sexo femenino.

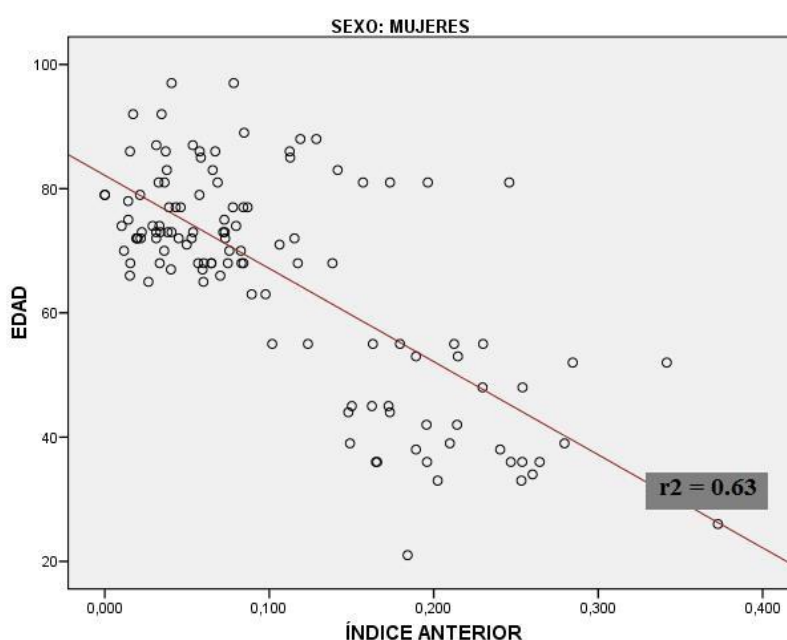


Gráfico 7. Recta de regresión para la variable Índice Posterior. Sexo femenino.

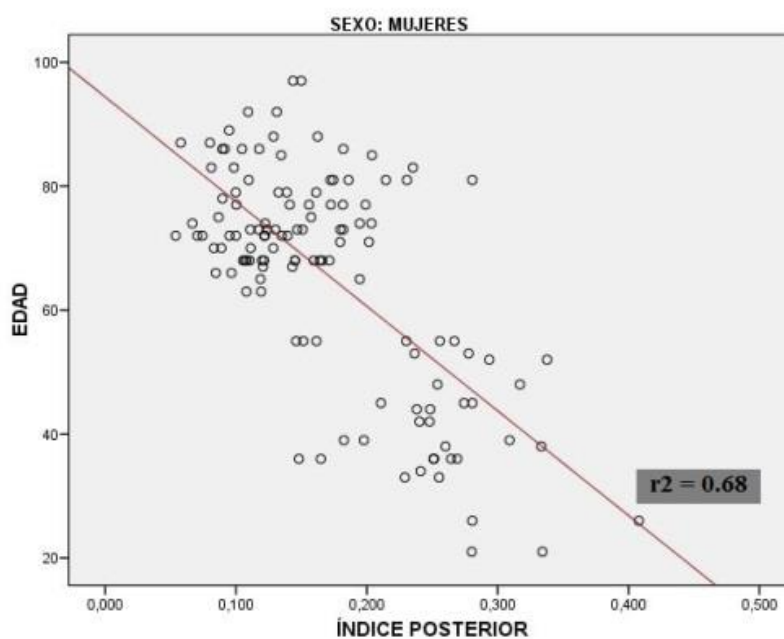


Gráfico 8. Recta de regresión para la variable Índice Total. Sexo femenino.

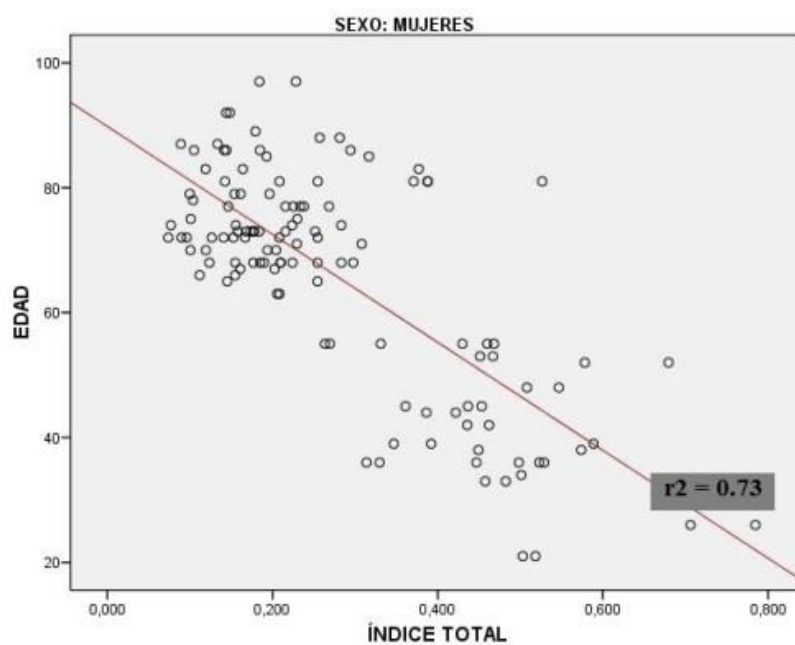


Gráfico 9. Recta de regresión para la variable Media de Gris Esternal. Sexo femenino.

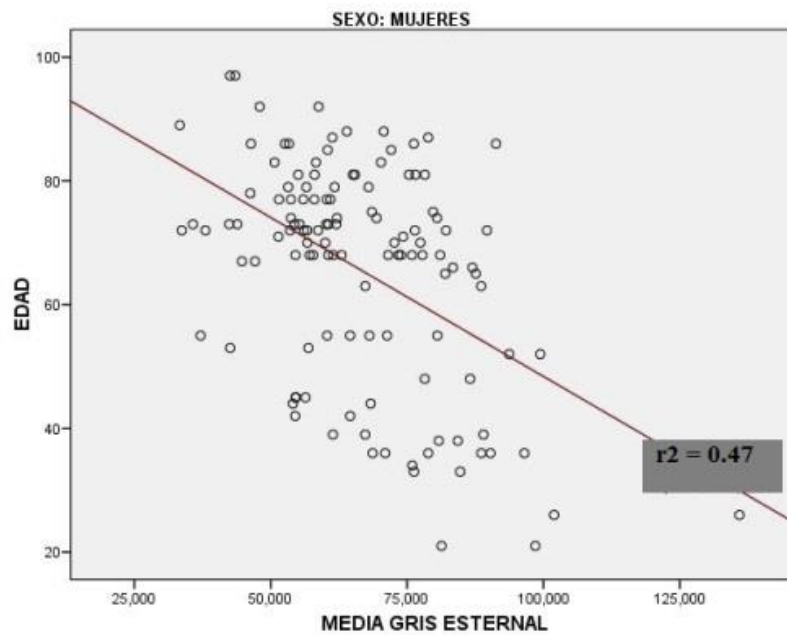
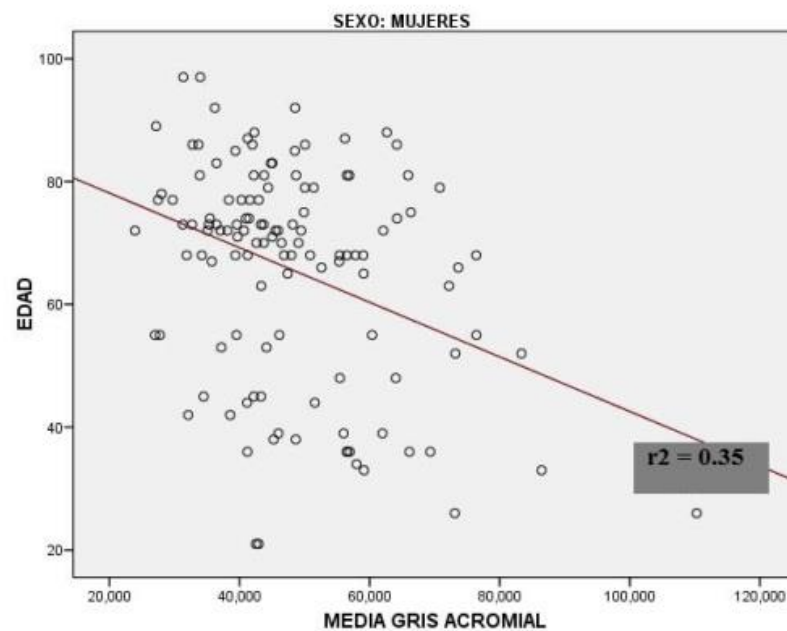


Gráfico 10. Recta de regresión de la variable Media de Gris Acromial. Sexo femenino.



Las gráficas anteriores incluyen las rectas de regresión de las cinco variables de estudio, para el caso de los hombres, con respecto a la edad (Gráficos 1, 2, 3, 4 y 5).

➤ ESTUDIO ESTADÍSTICO: TEST DE VALIDACIÓN

Para comprobar la fiabilidad del método propuesto se ha realizado una prueba de validación con el fin de descubrir el grado de acierto entre la edad estimada y la edad real de una muestra de 30 clavículas elegidas al azar que no fueron incluidas en el estudio. Para ello se ha calculado el Error Medio de Predicción por separado en hombre y mujeres, aplicando las ecuaciones de regresión obtenidas en el estudio.

Tabla 17. Test de validación. Ambos sexos.

Hombres			Mujeres		
Ecuaciones de Regresión	N	ME*	Ecuaciones de Regresión	N	ME*
AI	15	-5.58	AI	15	6.35
PI	15	-4.12	PI	15	5.84
TI	15	6.06	TI	15	-4.58
SGA	15	6.48	SGA	15	-7.12
AGA	15	-7.20	AGA	15	-6.83
AI + SGA	15	-4.87	AI + SGA	15	5.46
PI+ SGA	15	6.22	PI+ SGA	15	6.10
TI + SGA	15	-4.39	TI + SGA	15	5.19
AI + AGA	15	-4.87	AI + AGA	15	-6.01
PI + AGA	15	-5.66	PI + AGA	15	-5.38
TI + AGA	15	5.91	TI + AGA	15	-4.82
AI + SGA +PI	15	4.13			
AI + SGA + PI + AGA	15	3.97			

SGA (Media de Gris en la Extremidad Eterna), AGA (Media de gris en la Extremidad Acromial), AI (Índice Anterior), PI (Índice Posterior), TI (Índice Total)

* Error Medio de Predicción

Los resultados de la tabla anterior muestran que el Error Medio de Predicción no supera los 7.20 años en caso de varones, ni los 7.12 en caso de mujeres (Tabla 17).

12.1.2 RESULTADOS OBTENIDOS EN LA CLAVÍCULA: ESTUDIO MORFOLÓGICO

➤ RESULTADOS DEL ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LAS VARIABLES DE ESTUDIO

Las siguientes tablas muestran los resultados del análisis descriptivo de las cinco variables que han sido objeto de estudio: diámetro trabecular en la extremidad esternal (TDS), diámetro trabecular en la extremidad acromial (TDA), involución trabecular en la cavidad medular (TIM), grosor de la cortical en la región anterior de la clavícula (GCA) y grosor de la cortical en la región posterior de la clavícula (GCP).

Los resultados se muestran separados por variables (Tablas 18, 19, 20, 21 y 22):

Tabla 18. Resultados del estudio descriptivo. Variable Diámetro Trabecular en la Extremidad Esternal.

DIÁMETRO TRABECULAR EN LA EXTREMIDAD ESTERNAL											
Fases	Lado	Hombres					Mujeres				
		N	Mín edad	Máx edad	Media edad	SD edad	N	Mín edad	Máx edad	Media edad	SD edad
0.5- 1mm	D	12	20	35	28.46	1.24	6	22	39	31.31	1.54
	I	11	20	35	28.13	1.32	6	22	39	31.35	1.47
1.1- 2mm	D	20	31	57	41.46	1.74	7	31	47	39.68	1.35
	I	21	31	58	42.84	1.69	6	33	47	41.49	1.29
2.1- 3mm	D	21	41	62	50.76	1.57	12	41	58	49.76	1.29
	I	21	41	62	50.91	1.26	13	41	59	50.18	1.33
3.1- 4mm	D	24	51	83	74.80	1.08	23	52	79	72.46	1.34
	I	24	51	83	74.64	1.14	26	52	79	72.82	1.27
4.1- 5mm	D	10	71	87	79.25	1.28	31	71	88	83.10	1.17
	I	8	71	88	80.16	1.31	30	72	89	82.36	1.25

Tabla 19. Resultados del estudio descriptivo. Variable Diámetro Trabecular en la Extremidad Acromial.

DIÁMETRO TRABECULAR EN LA EXTREMIDAD ACROMIAL											
Fases (mm)	Lado	Hombres					Mujeres				
		N	Min edad	Máx edad	Media edad	SD edad	N	Mín edad	Máx edad	Media edad	SD edad
0.5 – 1	D	17	21	36	27.32	1.14	6	23	37	30.26	1.24
	I	17	22	38	28.65	1.22	6	22	38	31.84	1.40
1.1 - 2	D	18	33	57	44.48	1.33	8	33	45	40.86	1.45
	I	18	33	55	41.15	1.41	7	31	48	38.72	1.23
2.1 – 3	D	15	44	66	53.49	1.50	14	42	57	49.62	1.39
	I	14	41	63	51.78	1.36	13	44	59	51.59	1.27
3.1 - 4	D	21	53	78	66.16	1.01	21	51	77	71.86	1.14
	I	21	52	77	70.09	1.24	25	52	78	70.23	1.29
4.1 - 5	D	17	71	88	79.82	1.23	30	71	88	83.21	1.27
	I	16	71	86	80.60	1.12	30	74	89	80.01	1.28

Tabla 20. Resultados del estudio descriptivo. Variable Involución Trabecular en la Cavidad Medular.

INVOLUCIÓN TRABECULAR EN LA CAVIDAD MEDULAR											
Fases (mm)	Lado	Hombres					Mujeres				
		N	Min edad	Máx edad	Media edad	SD edad	N	Mín edad	Máx edad	Media edad	SD edad
0.5 - 1.5	D	23	23	35	29.45	1.11	10	24	38	31.22	1.20
	I	24	22	37	30.96	1.32	11	22	36	30.86	1.10
1.6 - 2.5	D	14	31	56	43.01	1.35	7	32	47	38.49	1.43
	I	14	34	58	44.58	1.21	6	35	46	39.71	1.33
2.6 - 3.5	D	15	42	75	53.14	1.56	10	41	68	49.16	1.38
	I	17	45	76	62.36	1.46	14	43	74	60.35	1.17
3.6 - 4.5	D	33	54	83	75.76	1.02	53	52	86	75.52	1.19
	I	33	52	87	72.46	1.28	50	51	89	76.84	1.39

Tabla 21. Resultados del estudio descriptivo. Variable Grosor de la Cortical en la Región Anterior.

GROSOR DE LA CORTICAL EN LA REGIÓN ANTERIOR											
Fases	Lado	Hombres					Mujeres				
		N	Min edad	Máx edad	Media edad	SD edad	N	Mín edad	Máx edad	Media edad	SD edad
¼ del total	D	27	22	37	29.26	1.34	11	22	36	30.58	1.26
	I	26	23	38	27.56	1.28	11	24	37	32.69	1.10
1/8 del total	D	25	34	58	46.36	1.13	20	34	54	41.78	1.47
	I	26	32	56	47.14	1.44	20	31	58	43.36	1.13
1/12 del total	D	10	62	68	65.89	1.10	8	61	68	65.10	1.32
	I	8	61	67	64.75	1.31	7	62	70	64.96	1.37
1/24 del total	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Desaparición	D	23	72	87	80.20	1.03	41	72	87	83.58	1.07
	I	24	71	85	78.58	1.17	42	74	86	80.77	1.25

Tabla 22. Resultado del estudio descriptivo. Variable Grosor de la Cortical en la Región Posterior.

GROSOR DE LA CORTICAL EN LA REGIÓN POSTERIOR											
Fases	Lado	Mujeres					Hombres				
		N	Mín edad	Máx edad	Media edad	SD edad	N	Mín edad	Máx edad	Media edad	SD edad
¼ del total	D	29	23	48	35.76	1.14	11	22	37	33.48	1.36
	I	27	22	46	33.51	1.26	11	23	39	34.68	1.12
1/8 del total	D	23	41	57	48.46	1.33	19	42	56	52.78	1.27
	I	23	43	58	49.35	1.47	21	43	58	53.06	1.15
1/12 del total	D	10	61	69	64.29	1.30	8	61	67	65.36	1.22
	I	11	63	68	66.58	1.34	7	62	69	65.26	1.39
1/24 del total	D	15	72	78	75.36	1.26	23	72	79	75.13	1.05
	I	15	73	79	76.21	1.08	23	71	77	73.96	1.40
Desaparición	D	8	82	86	84.28	1.23	18	83	86	85.75	1.37
	I	9	81	85	83.58	1.19	19	84	89	86.77	1.28

En las cinco tablas anteriores se muestran los resultados del estudio descriptivo de cada una de las variables implicadas en el estudio morfológico de las clavículas. En todas ellas se observa un claro aumento de la edad a medida que también lo hace el factor de clasificación, que en unos casos está basado en el diámetro trabecular y en otros en el grosor de la cortical de la clavícula.

En este caso, la media de edad de las mujeres (63.58 años \pm 18.13) es 14 años más alta que la media de los varones (49.59 años \pm 16.27), lo que indica que la proporción de mujeres de edad avanzada es mayor que la de hombres.

➤ **ESTUDIO ESTADÍSTICO: RESULTADOS DE LA FIABILIDAD EN LA TOMA DE MEDIDAS Y REPRODUCIBILIDAD DE LA TÉCNICA**

La siguiente tabla muestra los resultados del error intraobservador que sirve para averiguar la fiabilidad en la toma de medidas, y los resultados del error interobservador que aportan información sobre la repetitividad de la técnica empleada.

Para conocer qué grado de fiabilidad y reproducibilidad tiene la técnica empleada se ha realizado una prueba del Coeficiente de Cohen Kappa (*Kappa*).

Tabla 23. Resultados del Coeficiente de Kappa.

Variables	N	Error intraobservador		Error Interobservador	
		Coeficiente <i>Kappa</i>	Valor de significación ^a	Coeficiente <i>Kappa</i>	Valor de significación ^a
TDS	30	0.498	0.001	0.336	0.001
TDA	30	0.420	0.001	0.341	0.001
TIM	30	0.562	0.001	0.452	0.001
GCA	30	0.715	0.001	0.722	0.001
GCP	30	0.756	0.001	0.714	0.001

TDS (Diámetro trabecular en la extremidad esternal), TDA (Diámetro trabecular en la Extremidad Acromial), TIM (Involución trabecular en la cavidad medular), GCA (Grosor de la cortical en la región anterior), GCP (Grosor de la cortical en la región posterior)

^a Nivel de significación (0.05)

El coeficiente de Cohen Kappa es un indicador de fiabilidad que oscila entre 0 y 1, siendo mayor el grado de fiabilidad en las variables que presentan el coeficiente más cercano a 1.

Los resultados de la tabla anterior (Tabla 23) muestran que, tanto en hombres como en mujeres, las variables que presentan un coeficiente más cercano a 1 son las relacionadas con el grosor de la cortical de la clavícula ($k > 0.7$), mientras que las variables que relacionan el diámetro trabecular presentan coeficientes más bajos ($k < 0.6$)

➤ ESTUDIO ESTADÍSTICO: COMPARACIÓN DE MEDIAS EN FUNCIÓN DE LA LATERALIDAD Y EL GÉNERO

En primer lugar, es necesario conocer si la población de estudio sigue una distribución normal, así como si se cumple el supuesto de homocedasticidad. En este caso, los resultados indican que se trata de una población normal ($n > 30$), y gracias a los resultados de la prueba de Levene ($p > 0.05$), también se entiende que existe igualdad de varianzas. Por estas razones, se ha realizado un análisis estadístico basado en pruebas paramétricas.

Para averiguar si existen diferencias significativas entre en función del sexo y del lado, se han realizado pruebas T-student para muestras independientes y para muestras relacionadas, respectivamente. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 24. Resultados de la Prueba T-student.

Variables	Prueba de Levene		T-student independientes				T-student relacionadas				
	F	p^a	t	p^a	SD^b	SE^c	$X (D-I)^d$	SD^b	SE^c	t	p^a
TDS	3.42	0.36	1.85	0.35	0.45	0.27	-0.15	0.38	0.49	1.98	0.16
TDA	2.98	0.44	1.34	0.37	0.32	0.31	-0.26	0.46	0.50	1.60	0.18
TIM	1.09	0.51	2.06	0.40	0.84	0.23	-0.12	0.26	0.31	1.48	0.39
GCA	4.69	0.24	-0.82	0.39	0.04	0.02	0.03	0.07	0.02	0.39	0.24
GCP	4.33	0.17	-0.98	0.17	0.06	0.01	0.02	0.09	0.02	0.51	0.37

TDS (Diámetro trabecular en la extremidad esternal), TDA (Diámetro trabecular en la Extremidad Acromial), TIM (Involución trabecular en la cavidad medular), GCA (Grosor de la cortical en la región anterior), GCP (Grosor de la cortical en la región posterior)

^a Nivel de significación (0.05)

^b Desviación Estándar

^c Error Estándar

^d Media de las diferencias entre lado derecho e izquierdo en centímetros

En ninguna de las dos pruebas realizadas anteriormente se observan niveles de significación inferiores a 0.05 ($p > 0.05$), lo que indica que no se parecían diferencias significativas ni en función del sexo, ni en función del lado.

A pesar de los resultados, se ha decidido segmentar la muestra en función del sexo debido a los resultados obtenidos anteriormente (Tabla 24).

➤ **ESTUDIO ESTADÍSTICO: PORCENTAJE DE APARICIÓN DE CADA VARIABLE POR GRUPOS DE EDAD**

A continuación se muestran los porcentajes de aparición de cada una de las variables de estudio por grupos de edad. En cada tabla se muestra el número de individuos que pertenece a cada grupo de edad en función del factor de agrupación de cada variable.

Tabla 25. Porcentajes de aparición de la variable Diámetro Trabecular en la Extremidad Eterna.

EDAD	SEXO	LADO	DIÁMETRO TRABECULAR EN LA EXTREMIDAD ETERNAL									
			0.5 - 1mm		1.1 - 2mm		2.1 - 3mm		3.1 - 4mm		4.1 - 5mm	
			N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
20 - 30	M	R	8	36.4	-	-	-	-	-	-	-	-
		L	8	36.4	-	-	-	-	-	-	-	-
	F	R	3	13.6	-	-	-	-	-	-	-	-
		L	3	13.6	-	-	-	-	-	-	-	-
31- 40	M	R	4	7.5	15	28.3	-	-	-	-	-	-
		L	3	5.66	15	28.3	-	-	-	-	-	-
	F	R	3	5.66	5	9.4	-	-	-	-	-	-
		L	3	5.66	5	9.4	-	-	-	-	-	-
41 - 50	M	R	-	-	3	7.7	7	17.9	-	-	-	-
		L	-	-	3	7.7	7	17.9	-	-	-	-
	F	R	-	-	2	5.1	7	17.9	-	-	-	-
		L	-	-	1	2.6	9	23.1	-	-	-	-
51 - 60	M	R	-	-	2	3.8	7	13.5	6	11.5	-	-
		L	-	-	3	5.7	8	15.4	5	9.6	-	-
	F	R	-	-	-	-	5	9.6	6	11.5	-	-
		L	-	-	-	-	4	7.7	6	11.5	-	-
61 - 70	M	R	-	-	5	9.6	24	46.1	23	44.2	-	-
		L	-	-	-	-	7	19.4	4	11.1	-	-
	F	R	-	-	-	-	-	-	7	19.4	-	-
		L	-	-	-	-	-	-	8	22.2	-	-
71 - 80	M	R	-	-	-	-	13	36.1	23	63.8	-	-
		L	-	-	-	-	-	-	10	13.2	5	6.6
	F	R	-	-	-	-	-	-	10	13.2	13	17.1
		L	-	-	-	-	-	-	12	15.8	11	14.5
81 and older	M	R	-	-	-	-	-	-	4	7.4	5	9.3
		L	-	-	-	-	-	-	4	7.4	4	7.4
	F	R	-	-	-	-	-	-	-	-	18	33.3
		L	-	-	-	-	-	-	-	-	19	35.2
	M&F	R&L	-	-	-	-	-	-	8	14.8	46	85.1

En la tabla anterior se observa como aumenta la edad de los individuos a medida que también lo hace el diámetro trabecular en la extremidad esternal (Tabla 25).

Tabla 26. Porcentaje de aparición de la variable Diámetro Trabecular en la Extremidad Acromial.

EDAD	SEXO	LADO	DIÁMETRO TRABECULAR EN LA EXTREMIDAD ACROMIAL									
			0.5 - 1mm		1.1 - 2mm		2.1 - 3mm		3.1 - 4mm		4.1 - 5mm	
			N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
20 - 30	M	R	8	36.4	-	-	-	-	-	-	-	-
		L	8	36.4	-	-	-	-	-	-	-	-
	F	R	3	13.6	-	-	-	-	-	-	-	-
		L	3	13.6	-	-	-	-	-	-	-	-
31 - 40	M&F	R&L	22	100	-	-	-	-	-	-	-	-
	M	R	9	16.9	10	18.9	-	-	-	-	-	-
		L	9	16.9	9	16.9	-	-	-	-	-	-
	F	R	3	5.66	5	9.4	-	-	-	-	-	-
L		3	5.66	5	9.4	-	-	-	-	-	-	
41 - 50	M&F	R&L	24	45.3	29	54.7	-	-	-	-	-	-
	M	R	-	-	5	12.8	5	12.8	-	-	-	-
		L	-	-	6	15.4	4	10.2	-	-	-	-
	F	R	-	-	1	2.6	8	20.5	-	-	-	-
L		-	-	1	2.6	9	23.1	-	-	-	-	
51 - 60	M&F	R&L	-	-	13	36.1	26	72.2	-	-	-	-
	M	R	-	-	3	5.7	6	11.5	6	11.5	-	-
		L	-	-	3	5.7	7	13.5	6	11.5	-	-
	F	R	-	-	2	3.8	5	9.6	4	7.7	-	-
L		-	-	1	1.9	4	7.7	5	9.6	-	-	
61 - 70	M&F	R&L	-	-	9	17.3	22	42.3	21	40.4	-	-
	M	R	-	-	-	-	4	11.1	7	19.4	-	-
		L	-	-	-	-	3	8.3	7	19.4	-	-
	F	R	-	-	-	-	1	2.77	6	16.6	-	-
L		-	-	-	-	-	-	8	22.2	-	-	
71 - 80	M&F	R&L	-	-	-	-	8	22.2	28	77.8	-	-
	M	R	-	-	-	-	-	-	8	10.5	7	9.2
		L	-	-	-	-	-	-	8	10.5	8	10.5
	F	R	-	-	-	-	-	-	11	14.5	12	15.8
L		-	-	-	-	-	-	12	15.8	11	14.5	
81 and older	M&F	R&L	-	-	-	-	-	-	38	50	38	50
	M	R	-	-	-	-	-	-	-	-	9	16.6
		L	-	-	-	-	-	-	-	-	8	14.8
	F	R	-	-	-	-	-	-	-	-	18	33.3
		L	-	-	-	-	-	-	-	-	19	35.2
	M&F	R&L	-	-	-	-	-	-	-	-	54	100

En la tabla anterior se observa como aumenta la edad a medida que también lo hace el diámetro trabecular en la extremidad acromial (Tabla 26).

Tabla 27. Porcentaje de aparición de la variable Involución Trabecular en la Cavidad Medular.

EDAD	SEXO	LADO	INVOLUCIÓN TRABECULAR EN LA CAVIDAD MEDULAR							
			0.5 – 1.5mm		1.6 – 2.5mm		2.6 – 3.5mm		3.5 – 4.5mm	
			N	%	N	%	N	%	N	%
20 - 30	M	R	8	36.4	-	-	-	-	-	-
		L	8	36.4	-	-	-	-	-	-
	F	R	3	13.6	-	-	-	-	-	-
		L	3	13.6	-	-	-	-	-	-
	M&F	R&L	22	100						
31 - 40	M	R	15	28.3	4	7.5	-	-	-	-
		L	16	30.2	2	3.8	-	-	-	-
	F	R	7	13.2	1	1.9	-	-	-	-
		L	8	15.1	-	-	-	-	-	-
	M&F	R&L	46	86.8	7	13.2				
41 - 50	M	R	-	-	8	20.5	2	5.1	-	-
		L	-	-	9	23.1	1	2.6	-	-
	F	R	-	-	6	15.4	3	7.7	-	-
		L	-	-	6	15.4	4	10.2	-	-
	M&F	R&L			29	74.3	10	25.7		
51 - 60	M	R	-	-	2	3.8	7	13.5	6	11.5
		L	-	-	3	5.7	8	15.4	6	11.5
	F	R	-	-	-	-	5	9.6	6	11.5
		L	-	-	-	-	4	7.7	5	9.6
	M&F	R&L			5	9.6	24	46.1	23	44.3
61 - 70	M	R	-	-	-	-	5	13.8	6	16.7
		L	-	-	-	-	6	16.7	4	11.1
	F	R	-	-	-	-	2	5.5	5	13.8
		L	-	-	-	-	3	8.3	5	13.8
	M&F	R&L					16	44.4	20	55.6
71 - 80	M	R	-	-	-	-	1	1.3	13	17.1
		L	-	-	-	-	2	2.6	14	18.4
	F	R	-	-	-	-	-	-	23	30.3
		L	-	-	-	-	1	1.3	22	28.9
	M&F	R&L					4	5.3	72	94.7
81 and older	M	R	-	-	-	-	-	-	8	14.8
		L	-	-	-	-	-	-	9	16.6
	F	R	-	-	-	-	-	-	19	35.2
		L	-	-	-	-	-	-	18	33.3
	M&F	R&L							54	100

En la tabla anterior se muestra el aumento de la edad de los individuos de estudio a medida que también se observa un aumento del diámetro trabecular en la cavidad medular (Tabla 27).

Tabla 28. Porcentajes de aparición de la variable Grosor de la Cortical en la Región Anterior.

EDAD	SEXO	LADO	GROSOR DE LA CORTICAL EN LA REGIÓN ANTERIOR									
			¼ del grosor total (2mm)		1/8 del grosor total (1.5mm)		1/12 del grosor total (1mm)		1/24 del grosor total (0.5mm)		Ausencia de cortical (0mm)	
			N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
20 - 30	M	R	8	36.4	-	-	-	-	-	-	-	-
		L	8	36.4	-	-	-	-	-	-	-	-
	F	R	3	13.6	-	-	-	-	-	-	-	-
		L	3	13.6	-	-	-	-	-	-	-	-
	M&F	R&L	22	100								
31 - 40	M	R	19	35.8	-	-	-	-	-	-	-	-
		L	18	33.9	-	-	-	-	-	-	-	-
	F	R	8	15.1	-	-	-	-	-	-	-	-
		L	8	15.1	-	-	-	-	-	-	-	-
	M&F	R&L	53	100								
41 - 50	M	R	-	-	10	25.6	-	-	-	-	-	-
		L	-	-	10	25.6	-	-	-	-	-	-
	F	R	-	-	10	25.6	-	-	-	-	-	-
		L	-	-	9	23.2	-	-	-	-	-	-
	M&F	R&L			39	100						
51 - 60	M	R	-	-	15	28.8	-	-	-	-	-	-
		L	-	-	16	30.8	-	-	-	-	-	-
	F	R	-	-	10	19.2	-	-	-	-	-	-
		L	-	-	11	21.1	-	-	-	-	-	-
	M&F	R&L			52	100						
61 - 70	M	R	-	-	-	-	10	27.7	-	-	-	-
		L	-	-	-	-	11	30.5	-	-	-	-
	F	R	-	-	-	-	8	22.2	-	-	-	-
		L	-	-	-	-	7	19.4	-	-	-	-
	M&F	R&L					36	100				
71 - 80	M	R	-	-	-	-	-	-	-	-	15	19.7
		L	-	-	-	-	-	-	-	-	15	19.7
	F	R	-	-	-	-	-	-	-	-	23	30.3
		L	-	-	-	-	-	-	-	-	23	30.3
	M&F	R&L									76	100
81 o más	M	R	-	-	-	-	-	-	-	-	8	14.8
		L	-	-	-	-	-	-	-	-	9	16.7
	F	R	-	-	-	-	-	-	-	-	18	33.3
		L	-	-	-	-	-	-	-	-	19	35.2
	M&F	R&L									54	100

En la tabla anterior se observa, un aumento de la edad a medida que disminuye el grosor de la cortical de la clavícula en la región anterior (Tabla 28). Además, en este caso los grupos de edad están bien definidos, al contrario que pasaba en los casos anteriores.

Tabla 29. Porcentaje de aparición de la variable Grosor de la Cortical en la Región Posterior.

EDAD	SEXO	LADO	GROSOR DE LA CORTICAL EN LA REGIÓN POSTERIOR									
			¼ del grosor total (2mm)		1/8 del grosor total (1.5mm)		1/12 del grosor total (1mm)		1/24 del grosor total (0.5mm)		Ausencia de cortical (0mm)	
			N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
20 - 30	M	R	8	36.4	-	-	-	-	-	-	-	-
		L	8	36.4	-	-	-	-	-	-	-	-
	F	R	3	13.6	-	-	-	-	-	-	-	-
		L	3	13.6	-	-	-	-	-	-	-	-
31- 40	M&F R&L		22	100								
	M	R	19	35.8	-	-	-	-	-	-	-	-
		L	18	33.9	-	-	-	-	-	-	-	-
	F	R	8	15.1	-	-	-	-	-	-	-	-
L		8	15.1	-	-	-	-	-	-	-	-	
41 - 50	M&F R&L		53	100								
	M	R	2	5.1	8	20.5	-	-	-	-	-	-
		L	1	2.6	9	23.1	-	-	-	-	-	-
	F	R	-	-	9	23.1	-	-	-	-	-	-
L		-	-	10	25.6	-	-	-	-	-	-	
51 - 60	M&F R&L		3	7.7	36	92.3						
	M	R	-	-	15	28.8	-	-	-	-	-	-
		L	-	-	16	30.8	-	-	-	-	-	-
	F	R	-	-	10	19.2	-	-	-	-	-	-
L		-	-	11	21.1	-	-	-	-	-	-	
61 - 70	M&F R&L				52	100						
	M	R	-	-	-	-	10	27.7	-	-	-	-
		L	-	-	-	-	11	30.5	-	-	-	-
	F	R	-	-	-	-	8	22.2	-	-	-	-
L		-	-	-	-	7	19.4	-	-	-	-	
71 - 80	M&F R&L						36	100				
	M	R	-	-	-	-	-	-	15	19.7	-	-
		L	-	-	-	-	-	-	15	19.7	-	-
	F	R	-	-	-	-	-	-	23	30.3	-	-
L		-	-	-	-	-	-	23	30.3	-	-	
81 and older	M&F R&L								76	100		
	M	R	-	-	-	-	-	-	-	-	8	14.8
		L	-	-	-	-	-	-	-	-	9	16.7
	F	R	-	-	-	-	-	-	-	-	18	33.3
L		-	-	-	-	-	-	-	-	19	35.2	
M&F R&L										27	100	

En este caso, al igual que el caso anterior, se observa un aumento de la edad a media que disminuye el grosor de la cortical de la clavícula en la región posterior (Tabla 29).

También en esta variable se aprecian grupos homogéneos.

➤ ESTUDIO ESTADÍSTICO: ANÁLISIS DE LA VARIANZA

El análisis de la varianza (ANOVA) permite averiguar si existen diferencias, no debidas al azar, entre las medias de dos factores con respecto a una variable dependiente. En este caso nos permite saber, dentro de cada variable, qué grupos son significativamente diferentes con respecto a la edad.

Tabla 30. Resultados del estadístico ANOVA.

ANOVA. Inter-grupos						
Variable	Sexo	Suma de cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	Nivel de Significación
TDS	M	1858.39	171	952.63	89.25	0.001
	F	1436.25	159	973.18	78.69	0.001
TDA	M	1975.56	171	912.65	92.36	0.001
	F	1758.36	159	984.56	77.48	0.001
TIM	M	1526.98	171	971.58	88.56	0.001
	F	1379.21	159	904.37	78.21	0.001
GCA	M	963.58	171	435.88	65.28	0.001
	F	845.11	159	429.61	63.25	0.001
GCP	M	936.14	171	458.27	67.14	0.001
	F	875.24	159	439.66	65.89	0.001

En el análisis de ANOVA se aprecian diferencias significativas ($p < 0.001$) en todas las variables en el estudio inter-grupos. Esto significa que hay diferencias, no debidas al azar, entre algunos de los grupos que forman el factor de separación de cada una de las variables (Tabla 30). A continuación se ha realizado un análisis de subconjuntos homogéneos de Duncan para poder discernir qué grupos son los presentan mayores diferencias con respecto a sus medias.

Tabla 31. Resultados del análisis de subconjuntos homogéneos DUNCAN. Diámetro trabecular en la Extremidad Eterna.

DIÁMETRO TRABECULAR EN LA EXTREMIDAD ETERNAL										
Factor de Clasificación	Subconjuntos homogéneos. DUNCAN									
	Hombres. Subconjuntos 95%					Mujeres. Subconjuntos 95%				
	N	1	2	3	4	N	1	2	3	4
0.5 – 1mm	33	28.34				12	31.36			
1.1 – 2mm	41		41.92			13	39.98			
2.1 – 3mm	42			50.84		25		49.83		
3.1 – 4mm	48				74.77	49			72.77	
4.1 – 5mm	18				79.32	61				82.12
Nivel del significación		0.336	0.102	0.082	0.453		0.215	0.098	0.121	0.784

En la tabla anterior se observan los resultados de la prueba de subgrupos homogéneos de Duncan (Tabla 31). Se aprecia que, en hombres, existen diferencias significativas entre los tres primeros grupos de clasificación, mientras que quedan agrupados los dos últimos grupos. En el caso de mujeres se observa lo contrario, los dos primeros grupos de clasificación quedan agrupados, mientras que en los tres últimos se observan diferencias significativas.

Tabla 32. Resultados del análisis de subconjuntos homogéneos DUNCAN. Diámetro Trabecular en la Extremidad Acromial.

DIÁMETRO TRABECULAR EN LA EXTREMIDAD ACROMIAL											
Factor de Clasificación	Subconjuntos homogéneos. DUNCAN										
	Hombres. Subconjuntos 95%						Mujeres. Subconjuntos 95%				
	N	1	2	3	4	5	N	1	2	3	4
0.5 – 1mm	34	27.88					12	31.12			
1.1 – 2mm	36		43.15				16	39.84			
2.1 – 3mm	29			52.56			27		50.21		
3.1 – 4mm	42				68.94		46			70.92	
4.1 – 5mm	23					80.08	60				82.84
Nivel del significación		0.154	0.259	0.490	0.265	0.092		0.735	0.956	0.154	0.384

En este caso, se puede observar que existen diferencias significativas entre los cinco grupos de clasificación, en el caso de los hombres. Sin embargo, en el caso de las mujeres, sí se observa agrupación entre los dos primeros grupos de clasificación, mientras que se observan diferencias entre los tres últimos (Tabla 32).

Tabla 33. Resultados del análisis de subconjuntos homogéneos DUNCAN. Involución Trabecular de la Cavity Medular.

INVOLUCIÓN TRABECULAR EN LA CAVIDAD MEDULAR									
Factor de Clasificación	Subconjuntos homogéneos. DUNCAN								
	Hombres. Subconjuntos 95%					Mujeres. Subconjuntos 95%			
	N	1	2	3	4	N	1	2	3
0.5 – 1.5mm	47	30.25				21	31.02		
1.6 – 2.5mm	28		43.96			13	38.88		
2.6 – 3.5mm	32			57.82		24		55.84	
3.6 – 4.5mm	66				74.15	103			75.62
Nivel del significación		0.302	0.852	0.462	0.193		0.215	0.098	0.121

Para el caso de la involución trabecular, se observan diferencias entre todos los grupos de clasificación en el caso de los hombres, mientras que tan sólo se observan diferencias

en dos de ellos en el caso de las mujeres, quedando agrupados los dos primeros grupos (Tabla 33).

Tabla 34. Resultados del análisis de subconjuntos homogéneos DUNCAN. Grosor de la Cortical en la Región Anterior.

GROSOR DE LA CORTICAL EN LA REGIÓN ANTERIOR												
Factor de Clasificación	Subconjuntos homogéneos. DUNCAN											
	Hombres. Subconjuntos 95%						Mujeres. Subconjuntos 95%					
	N	1	2	3	4	5	N	1	2	3	4	5
¼ del grosor total	53	28.15					22	31.85				
1/8 del grosor total	51		46.87				40		42.57			
1/12 del grosor total	18			64.91			15			64.92		
1/24 del grosor total	0				0		0				0	
Desaparición	47					79.86	83					82.45
Nivel del significación		0.308	0.642	0.412	0.176	0.258		0.273	0.492	0.183	0.451	0.358

Para el grosor de la cortical en la región anterior de la clavícula se observan diferencias significativas entre todos los grupos de clasificación, tanto en hombres como en mujeres (Tabla 34).

Tabla 35. Resultados del análisis de subconjuntos homogéneos DUNCAN. Grosor de la Cortical en la Región Posterior.

GROSOR DE LA CORTICAL EN LA REGIÓN POSTERIOR												
Factor de Clasificación	Subconjuntos homogéneos. DUNCAN											
	Hombres. Subconjuntos 95%						Mujeres. Subconjuntos 95%					
	N	1	2	3	4	5	N	1	2	3	4	5
¼ del grosor total	56	34.12					22	33.57				
1/8 del grosor total	46		48.62				40		52.94			
1/12 del grosor total	21			65.23			15			65.28		
1/24 del grosor total	30				76.01		46				74.87	
Desaparición	17					83.56	37					85.96
Nivel del significación		0.228	0.792	0.462	0.114	0.376		0.193	0.342	0.563	0.311	0.518

Al igual que en el caso anterior, en la región posterior de la cortical de la clavícula también se observan diferencias significativas en todos los grupos de clasificación (Tabla 35).

➤ RESULTADOS DEL ESTUDIO ESTADÍSTICO: RESUMEN DEL TEST DE ANOVA Y DEL TEST DE SUBCONJUNTOS HOMOGÉNEOS

A continuación se muestra el resumen de los resultados obtenidos gracias a las pruebas estadísticas que se han realizado. En cada tabla se muestran las variables de estudio, así como los factores de agrupación de cada una de ellas, y los intervalos etarios a los que correspondería cada uno.

Los resultados se muestran separados por sexos (Tablas 36 y 37):

Tabla 36. Resumen de los resultados obtenidos. Sexo masculino.

TDS		TDA		TIM		GCA		GCP	
Factor	Edad	Factor	Edad	Factor	Edad	Factor	Edad	Factor	Edad
0.5-1mm	20-40	0.5-1mm	20-40	0.5-1.5mm	20-40	¼ total	20-40	¼ total	20-50
1.1-2mm	30-60	1.1-2mm	30-60	1.6-2.5mm	30-60	1/8 total	40-60	1/8 total	40-60
2.1-3mm	40-70	2.1-3mm	40-70	2.6-3.5mm	40-80	1/12 total	60-70	1/12 total	60-70
3.1-4mm	50+	3.1-4mm	50-80	3.6-4.5mm	50+	1/24 total	-	1/24 total	70-80
4.1-5mm	50+	4.1-5mm	70+			Desaparición	70+	Desaparición	80+

Tabla 37. Resumen de los resultados obtenidos. Sexo femenino.

TDS		TDA		TIM		GCA		GCP	
Factor	Edad	Factor	Edad	Factor	Edad	Factor	Edad	Factor	Edad
0.5-1mm	20-50	0.5-1mm	20-60	0.5-1.5mm	20-50	¼ total	20-40	¼ total	20-40
1.1-2mm	20-50	1.1-2mm	20-60	1.6-2.5mm	20-50	1/8 total	40-60	1/8 total	40-60
2.1-3mm	40-50	2.1-3mm	40-70	2.6-3.5mm	40-80	1/12 total	60-70	1/12 total	60-70
3.1-4mm	50-80	3.1-4mm	50-80	3.6-4.5mm	50+	1/24 total	-	1/24 total	70-80
4.1-5mm	70+	4.1-5mm	70+			Desaparición	70+	Desaparición	80+

➤ ESTUDIO ESTADÍSTICO: TEST DE VALIDACIÓN

El test de validación sirve para conocer el porcentaje de acierto que presenta cada variable de estudio en función de la clasificación que hagan dentro de cada intervalo etario (Tabla 38).

Tabla 38. Test de validación. Separado por sexos.

Hombres			Mujeres		
Variable de estudio	N	% Inclusión dentro del intervalo etario	Variable de estudio	N	% Inclusión dentro del intervalo etario
TDS	15	85%	TDS	15	80%
TDA	15	80%	TDA	15	85%
TIM	15	85%	TIM	15	80%
GCA	15	90%	GCA	15	90%
GCP	15	95%	GCP	15	90%

➤ ESTUDIO MORFOLÓGICO DE LA CLAVÍCULA: DESCRIPCIÓN DE PATRONES DEGENERATIVOS EN FUNCIÓN DE LOS GRUPOS ETARIOS.

Los resultados, al igual que en los casos anteriores se han separado por sexos, en primer lugar se muestran las descripciones morfológicas que se han asociado con los diferentes grupos de edad en varones y segundo lugar las que se relacionan con mujeres.

En ambos casos, los grupos de edad se han creado en base a los resultados que han proporcionado los estudios estadísticos de análisis de la varianza y clasificación en subconjuntos homogéneos.

Sexo Masculino

A continuación se muestran las imágenes de las clavículas y las descripciones que se han realizado de los grupos de edad.

GRUPO DE EDAD (20 – 40 años)

En el primer grupo de edad se observan en general clavículas con bastante densidad en cuanto a materia ósea se refiere. El diámetro trabecular en las extremidades esternal y acromial oscila entre 0.5 y 1mm, llegando a alcanzar en algunos casos hasta los 2mm. En la cavidad medular puede llegar a alcanzar 1.5mm, superando este diámetro en un porcentaje muy pequeño de los casos. Por su parte, el grosor de la cortical tanto a nivel anterior como posterior es bastante grande, aproximadamente ocuparían 1/4 del grosor total de la clavícula, respectivamente (Figura 50).



Figura 50 .Radiografía de clavícula derecha. Varón de 28 años.

GRUPO DE EDAD (40 – 60 años)

Se aprecia una disminución de la densidad ósea que queda bien reflejada por la diferencia de color en las radiografías. Por su parte, el sistema trabecular se ve afectado en cuanto a que aparecen trabéculas de mayor diámetro, en las extremidades esternal y acromial, que oscilan entre 1.1 y 3mm, pudiendo sobrepasar el diámetro máximo hasta

los 4mm en algunos casos. En cuanto al grosor de la cortical en las regiones anterior y posterior, se observa una reducción clara en ambas regiones, pasando a ocupar tan sólo 1/8 del total de la clavícula en ambos casos. Esta característica es exclusiva de este grupo de edad (Figura 51).

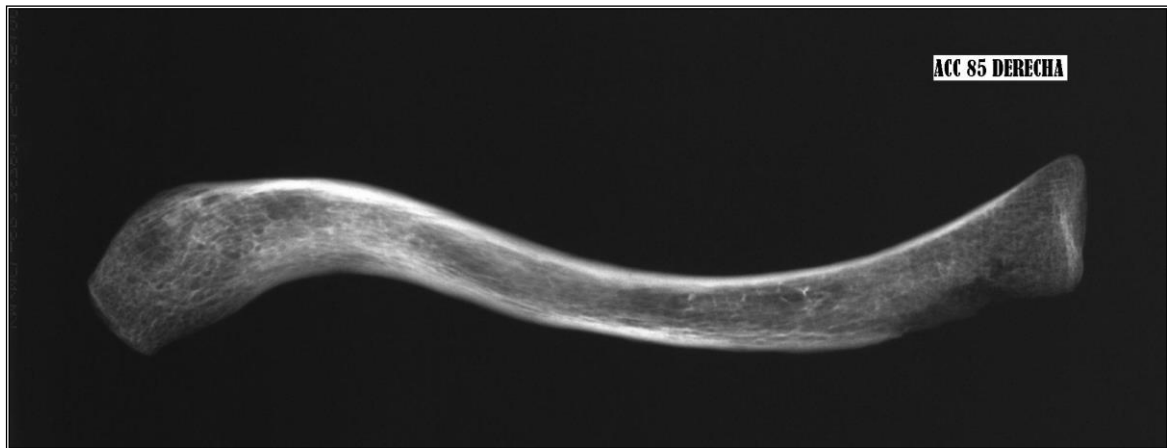


Figura 51. Radiografía de clavícula derecha. Varón de 42 años.

GRUPO DE EDAD (50 – 70 años)

El entramado trabecular en este grupo se mantiene casi igual que en el anterior, aunque en algunos casos la densidad de la materia ósea reflejada en el color de la radiografía parece menor que en el grupo anterior. Los diámetros trabeculares en las extremidades esternal y acromial son bastante variables y oscilan entre 1.1 y 4mm; al igual que ocurre en la cavidad medular, donde los diámetros pueden presentarse dentro del intervalo de 1.6 a 4.5mm. Lo que sí disminuyen considerablemente son los grosores de las corticales, tanto en la región anterior como en la posterior, llegando a reducirse hasta 1/12 del grosor total de la clavícula. Esta característica es exclusiva del grupo de edad de 60 a 70 años en todos los casos (Figura 52).

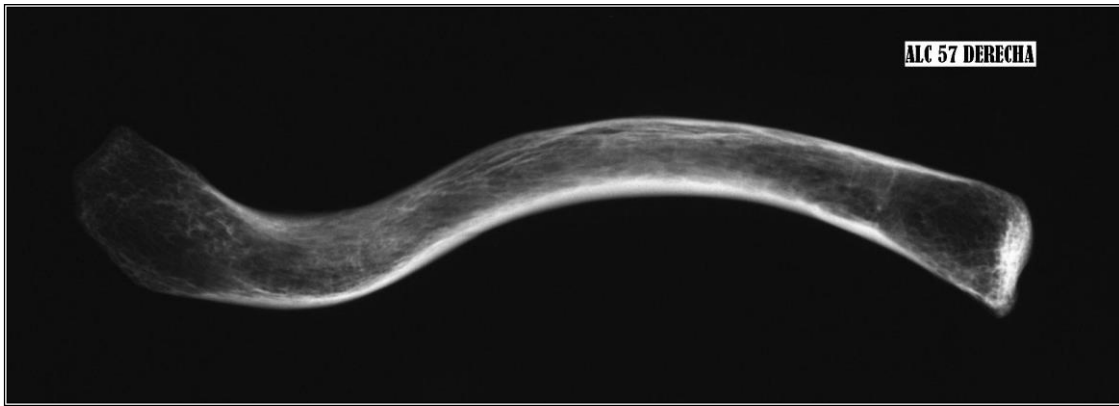


Figura 52. Radiografía de clavícula derecha. Varón de 64 años.

GRUPO DE EDAD (70 -80 años)

A partir de este grupo de edad sí se experimenta un cambio en el sistema trabecular de las extremidades esternal y acromial que está marcado por la disminución del número de trabéculas y el aumento de su diámetro, oscilando en estos casos desde los 3.1 hasta los 5mm. En la cavidad medular aparecen trabéculas con diámetros que varían entre los 2.6 y los 4.5mm. En ninguno de los casos anteriores se observan diámetros trabeculares menores de 2.5mm. En cuanto a los grosores corticales, se aprecia una desaparición total de la cortical en la región anterior, mientras que tan sólo hay una reducción en la región posterior que alcanza 1/24 del grosor total de la clavícula. A simple vista se observa la ausencia de cortical en la región anterior y una delgada y sinuosa línea como resquicio de la cortical en la región posterior (Figura 53).

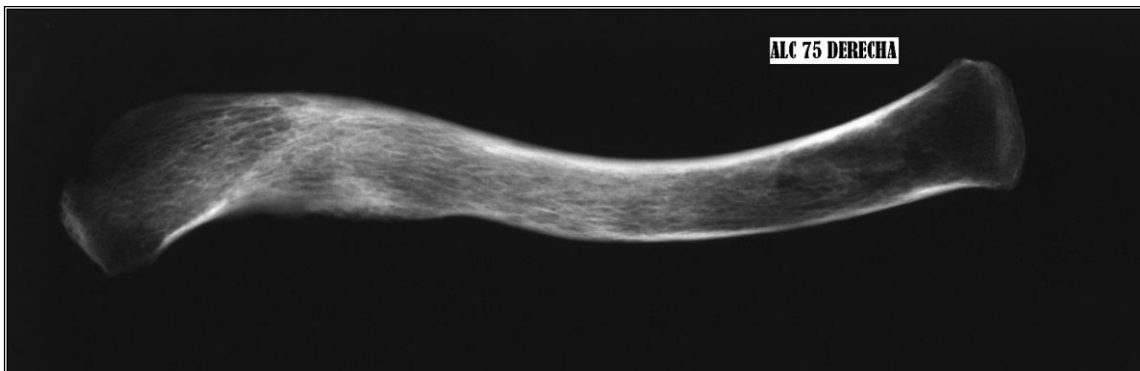


Figura 53. Radiografía de clavícula derecha. Varón de 75 años.

GRUPO DE EDAD (mayor de 80 años)

Las diferencias entre este grupo y el anterior no son muy significativas. Cabe destacar un aumento en el diámetro de las trabéculas que componen las extremidades esternal y acromial así como la cavidad medular observándose, en la mayoría de los casos diámetros trabeculares alrededor de los 4mm. La diferencia con el grupo anterior radica, sobre todo, en el grosor de las corticales, ya que en este caso no se observa rastro de ninguna de ellas. La cortical en la región posterior también desaparece en este grupo de edad (Figura 54).

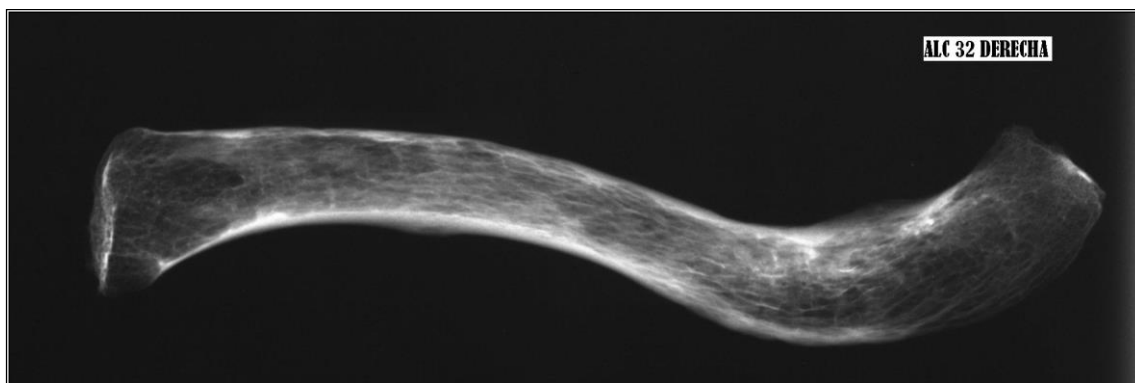


Figura 54. Radiografía de clavícula derecha. Varón de 91 años.

Sexo Femenino

Se han establecido 5 grupos de edad y en cada uno de ellos se muestra una imagen de una clavícula para que sirva de guía y una descripción morfológica de ésta. Los grupos se muestran a continuación:

GRUPO DE EDAD (20 – 40 años)

Tanto la cortical anterior como la posterior son gruesas y de aspecto denso, ocupan aproximadamente la 1/4 del grosor total de la cortical, respectivamente, en el punto medio de la clavícula y se van adelgazando hacia los extremos. Por otro lado el entramado trabecular a nivel de los extremos esternal y acromial está formado por trabéculas muy pequeñas de entre 0.5 a 2mm de diámetro. Por su parte, en la cavidad medular también se observa un aspecto denso y un entramado compacto en el que se aprecian trabéculas que, en muy raras ocasiones, superan 1.5mm de diámetro (Figura 55).

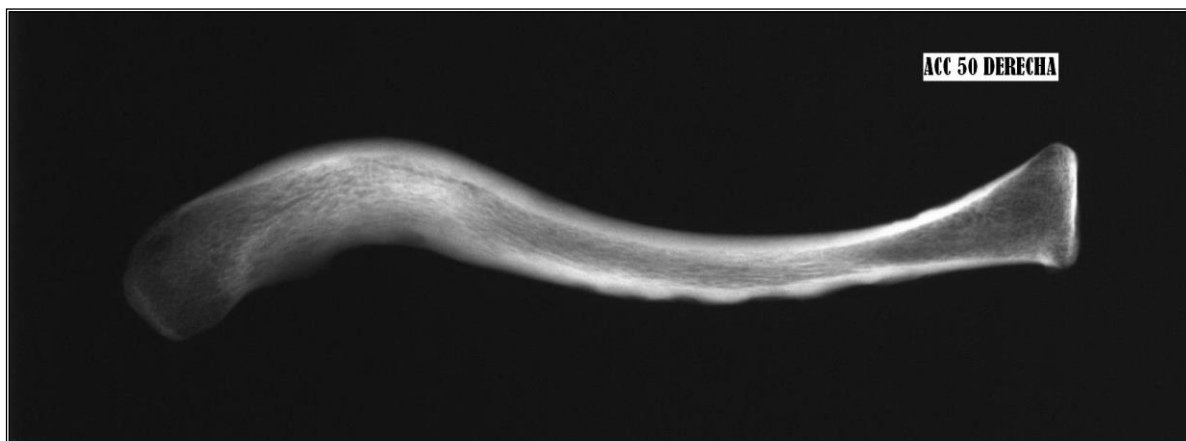


Figura 55. Radiografía de clavícula derecha. Mujer de 33 años.

GRUPO DE EDAD (40 -60 años)

En este grupo de edad se van sucediendo cambios en la cortical anterior y posterior. Se aprecia tanto una reducción del grosor, sobre todo, en el punto mediodiafisario que llega a alcanzar 1/8 del grosor total de la clavícula en ambas regiones, como una variación de la densidad ósea que disminuye bastante. A nivel del entramado trabecular, en las extremidades esternal y acromial, se observan diámetros trabeculares que oscilan entre 1.1 y 4mm, estando la media aproximadamente en 3mm. En la cavidad medular también se observa variación en el entramado trabecular encontrándose trabéculas con diámetros entre los 1.6 y los 4.5mm (Figura 56).

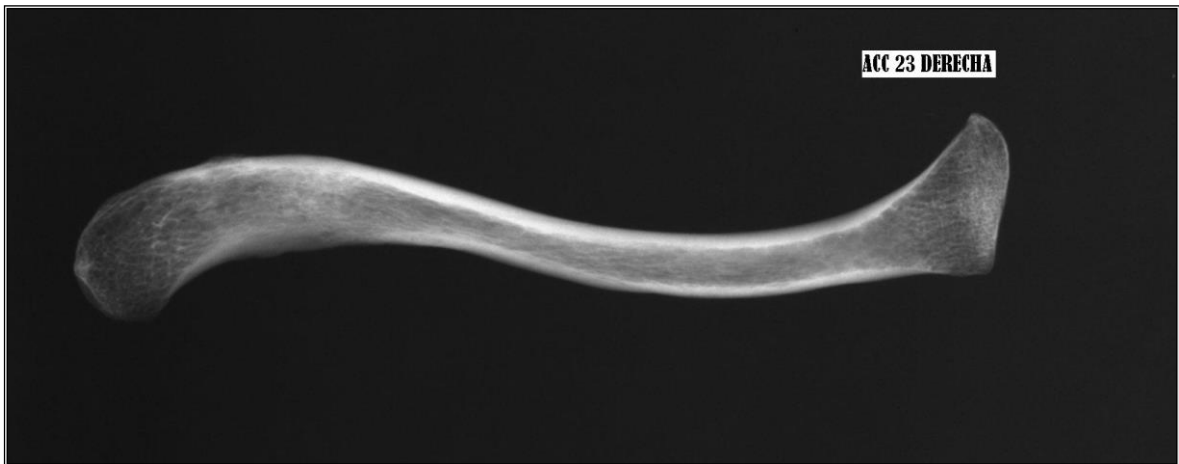


Figura 56. Radiografía de clavícula derecha. Mujer de 48 años.

GRUPO DE EDAD (60 -70 años)

A partir de este nivel hay un claro descenso del grosor de la cortical que se manifiesta, sobre todo, en la cortical anterior que se ve reducida a la mitad o un poco más en algunos casos. También se reduce la cortical posterior, pero, es mucho menos representativo, alcanzando 1/12 del grosor total de la clavícula. En cuanto al sistema trabecular no se aprecian muchos cambios con respecto al grupo anterior, ni en las extremidades esternal y acromial, ni en la cavidad medular, aunque sí se observa que la media del diámetro trabecular asciende un poco para situarse en torno a los 3.5 en las tres regiones de estudio (Figura 57).

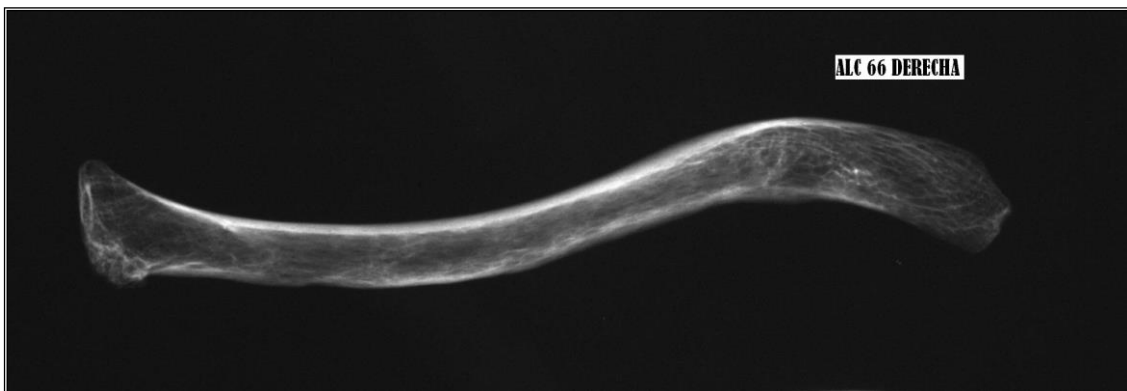


Figura 57. Radiografía de clavícula derecha. Mujer de 67 años.

GRUPO DE EDAD (70 -80 años)

El descenso en el grosor de las corticales es cada vez más importante, sobre todo, en la cortical en la región anterior, donde a partir de los 70 años es inexistente. En el caso de la cortical en la región posterior aún se observa como una delgada línea que ocupa 1/24 del grosor total de la clavícula. Además se aprecia un descenso de número de trabéculas óseas en las extremidades esternal y acromial que se observa bastante bien por la variación en cuanto a color y densidad en las radiografías, con el consiguiente aumento del diámetro de éstas, que oscila en este grupo etario entre los 3.1 y los 5mm. En la cavidad medular también se observa un aumento del diámetro trabecular ya que la mayoría de las trabéculas se encuentren entre los 3.5 y 4.5mm (Figura 58).

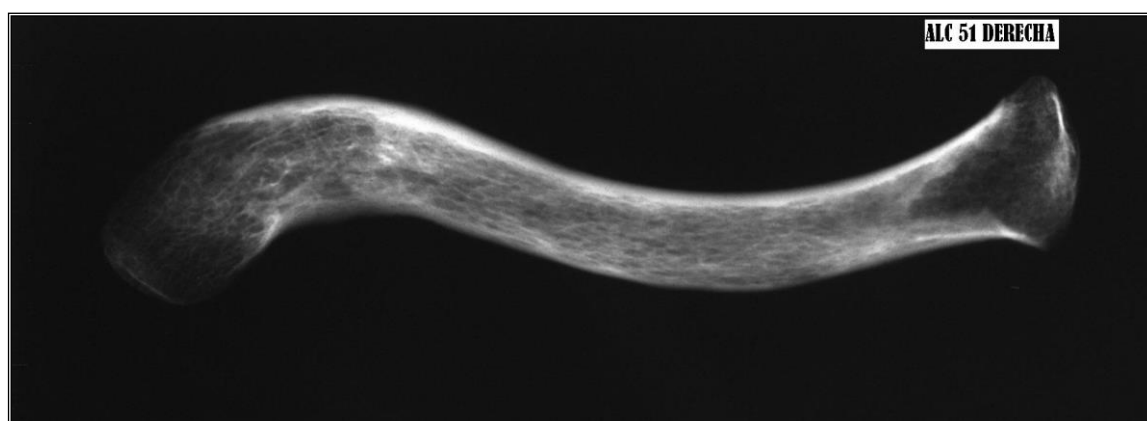


Figura 58. Radiografía de clavícula derecha. Mujer de 73 años.

GRUPO DE EDAD (mayor de 80 años)

En este último grupo de edad en general se puede ver una densidad clavicular bastante baja, con un sistema trabecular muy poco compacto; el número de trabéculas es muy reducido y nunca se observa un diámetro trabecular menor de 3mm en ninguna de las tres regiones de estudio (extremidades esternal y acromial y cavidad medular). En cuanto al grosor de la cortical en la región anterior y posterior, la característica más significativa es su desaparición total (Figura 59).

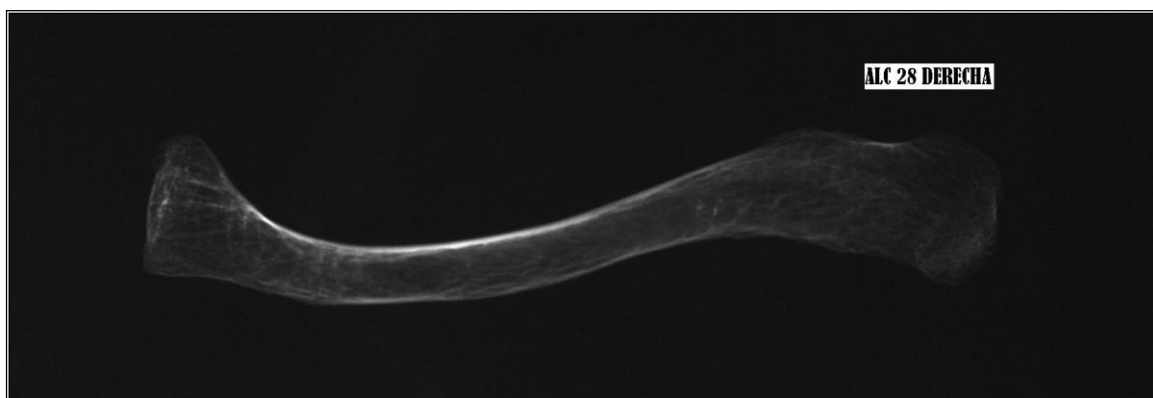


Figura 59. Radiografía de clavícula derecha. Mujer de 89 años.

12.1.3 RESULTADOS OBTENIDOS EN LA ESCÁPULA: ESTUDIO MORFOLÓGICO

➤ RESULTADOS DEL ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LAS VARIABLES DE ESTUDIO

Las siguientes tablas muestran los resultados del análisis descriptivo de las cuatro variables que han sido objeto de estudio: diámetro trabecular en la región del cuello de la escápula (TDC), diámetro trabecular en la región del borde axilar (TDB), arquitectura trabecular en la región del cuello (TAC) y arquitectura trabecular en la región del borde axilar (TAB) (Tablas 39, 40, 41 y 42).

Los resultados se muestran separados por variables:

Tabla 39. Resultados del estudio descriptivo. Variable Diámetro Trabecular en el Cuello de la Escápula.

DIÁMETRO TRABECULAR EN EL CUELLO DE LA ESCÁPULA											
Fases (mm)	Lado	Hombres					Mujeres				
		N	Min edad	Máx edad	Media edad	SD edad	N	Mín edad	Máx edad	Media edad	SD edad
< 2	D	29	21	48	39.58	1.48	12	23	48	37.28	1.64
	I	30	21	49	41.05	1.37	12	23	48	37.64	1.44
2 – 3	D	19	53	68	62.35	1.54	11	54	69	60.58	1.55
	I	19	53	68	62.35	1.60	10	53	68	59.92	1.25
>3	D	14	71	84	79.85	1.47	28	72	88	81.65	1.39
	I	13	74	86	80.12	1.39	29	74	89	82.41	1.38

Tabla 40. Resultados del estudio descriptivo. Variable Diámetro Trabecular en el Borde Axilar de la Escápula.

DIÁMETRO TRABECULAR EN EL BORDE AXILAR DE LA ESCÁPULA											
Fases (mm)	Lado	Hombres					Mujeres				
		N	Min edad	Máx edad	Media edad	SD edad	N	Mín edad	Máx edad	Media edad	SD edad
< 2	D	21	22	37	29.51	1.28	7	22	39	29.24	1.54
	I	20	21	39	30.65	1.32	6	21	38	30.61	1.48
2 – 3	D	28	42	67	60.05	1.57	16	43	68	59.51	1.45
	I	28	43	67	60.39	1.40	16	43	68	59.35	1.39
>3	D	13	72	85	80.65	1.37	28	73	87	80.15	1.36
	I	14	71	87	80.28	1.32	29	74	88	80.31	1.32

Tabla 41. Resultados del estudio descriptivo. Variable Arquitectura Trabecular en el Cuello de la Escápula.

ARQUITECTURA TRABECULAR EN EL CUELLO DE LA ESCÁPULA											
Fases	Lado	Hombres					Mujeres				
		N	Min edad	Máx edad	Media edad	SD edad	N	Mín edad	Máx edad	Media edad	SD edad
Paralela perfecta	D	5	21	29	24.31	1.26	3	21	29	25.14	1.44
	I	5	21	29	24.35	1.28	3	21	29	25.01	1.45
Paralela imperfecta	D	25	22	48	38.55	1.41	9	32	48	39.21	1.35
	I	24	21	47	39.89	1.46	9	32	48	39.25	1.37
Dispersa incipiente	D	19	52	68	59.62	1.54	11	51	69	60.85	1.46
	I	19	52	68	60.18	1.51	10	52	68	61.51	1.39
Dispersa ausencias	D	13	73	88	78.96	1.32	28	71	88	81.26	1.29
	I	14	72	87	79.52	1.36	29	72	87	81.95	1.27

Tabla 42. Resultados del estudio descriptivo. Variable Arquitectura Trabecular en el Borde Axilar de la Escápula.

ARQUITECTURA TRABECULAR EN EL BORDE AXILAR DE LA ESCÁPULA											
Fases	Lado	Hombres					Mujeres				
		N	Min edad	Máx edad	Media edad	SD edad	N	Mín edad	Máx edad	Media edad	SD edad
Paralela perfecta	D	5	22	29	24.61	1.24	3	22	29	26.44	1.34
	I	5	22	29	24.74	1.18	3	22	29	26.51	1.41
Paralela imperfecta	D	24	21	47	39.28	1.45	9	31	48	40.01	1.25
	I	25	22	47	39.14	1.36	9	31	48	40.27	1.32
Dispersa incipiente	D	19	51	69	60.12	1.24	11	51	68	61.25	1.36
	I	19	51	69	60.15	1.27	10	52	68	61.39	1.37
Dispersa ausencias	D	14	71	87	78.36	1.36	28	72	88	80.15	1.49
	I	13	72	87	78.22	1.34	29	72	89	81.92	1.45

En las cuatro tablas anteriores se aprecia un aumento de la edad en función de cada uno de los factores de clasificación: diámetro y arquitectura trabecular.

En el caso de la escápula, al igual que en el caso de la clavícula, la media de edad de las mujeres (60.35 años \pm 14.82) es 9 años más alta que la media de los varones (51.86 años \pm 15.21), lo que indica que la proporción de mujeres de edad avanzada es mayor que la de hombres.

➤ ESTUDIO ESTADÍSTICO: RESULTADOS DE LA FIABILIDAD EN LA TOMA DE MEDIDAS Y REPRODUCIBILIDAD DE LA TÉCNICA

La siguiente tabla muestra los resultados del error intraobservador que sirve para averiguar la fiabilidad en la toma de medidas, y los resultados del error interobservador que aportan información sobre la repetitividad de la técnica empleada.

Para conocer qué grado de fiabilidad y reproducibilidad tiene la técnica empleada se ha realizado una prueba llamada Coeficiente de *Kappa*.

Tabla 43. Resultados del Coeficiente de *Kappa*.

Variables	N	Error intraobservador		Error Interobservador	
		Coeficiente <i>Kappa</i>	Valor de significación ^a	Coeficiente <i>Kappa</i>	Valor de significación ^a
TDC	30	0.431	0.001	0.348	0.001
TDB	30	0.405	0.001	0.311	0.001
TAC	30	0.722	0.001	0.694	0.001
TAB	30	0.796	0.001	0.713	0.001

TDC (Diámetro trabecular en el cuello de la escápula), TDB (Diámetro trabecular en el borde axilar de la escápula), TAC (Arquitectura trabecular en el cuello de la escápula), TAB (Arquitectura trabecular en el borde axilar de la escápula)

^a Nivel de significación (0.05)

El Coeficiente de Kappa oscila entre 0 y 1, siendo mayor el grado de fiabilidad cuando es más próximo a 1. En la tabla anterior se observa que las variables que se relacionan

con la arquitectura del sistema trabecular ($k > 0.65$) son más fiables para la estimación de la edad que las que se relacionan con el diámetro trabecular ($k < 0.3$), en ambos sexos (Tabla 43).

➤ ESTUDIO ESTADÍSTICO: COMPARACIÓN DE MEDIAS EN FUNCIÓN DE LA LATERALIDAD Y EL GÉNERO

Para averiguar si existen diferencias significativas entre lados y entre sexos, se han realizado las pruebas T-student para muestras relacionadas y para muestras independientes, respectivamente.

Previamente, se ha hecho un estudio poblacional con el fin de averiguar si la población de estudio sigue una curva normal y presenta igualdad de varianzas. Los resultados muestran que la población sigue un patrón normal ($n > 30$), y cumple el supuesto de homocedasticidad, según los resultados obtenidos de la prueba Levene ($p > 0.05$).

Tabla 44. Resultados de la prueba Levene y de las pruebas T-student.

Variables	Prueba de Levene		T-student independientes				T-student relacionadas				
	F	p^a	t	p^a	SD ^b	SE ^c	X (D-I) ^d	SD ^b	SE ^c	T	p^a
TDC	5.37	0.31	1.46	0.38	0.35	0.17	0.35	0.48	0.29	1.38	0.26
TDB	5.28	0.64	1.67	0.67	0.36	0.26	0.29	0.41	0.51	1.56	0.12
TAC	3.69	0.57	1.49	0.42	0.54	0.19	0.12	0.36	0.11	1.49	0.59
TAB	4.52	0.14	1.83	0.19	0.18	0.21	0.09	0.19	0.12	1.37	0.28

TDC (Diámetro trabecular en el cuello de la escápula), TDB (Diámetro trabecular en el borde axilar de la escápula), TAC (Arquitectura trabecular en el cuello de la escápula), TAB (Arquitectura trabecular en el borde axilar de la escápula)

^a Nivel de significación (0.05)

^b Desviación estándar

^c Error estándar

^d Diferencia media entre lado derecho e izquierdo en centímetros

Los resultados de la tabla anterior muestran que no existen diferencias ni en función del lado, ni en función del sexo, ya que en todos los casos el nivel de significación es superior a 0.05 ($p > 0.05$) (Tabla 44).

A pesar de estos resultados, y basándose en resultados previos obtenidos por otros autores se ha decidido segmentar la muestra en función del sexo.

➤ ESTUDIO ESTADÍSTICO: PORCENTAJE DE APARICIÓN DE CADA VARIABLE POR GRUPOS DE EDAD

A continuación se ha realizado un estudio para comprobar el porcentaje de aparición de cada una de las variables de estudio en función de los grupos etarios (Tabla 45). Para cada una de las variables se han incluido los factores de clasificación.

Tabla 45. Porcentajes de aparición de la variable Diámetro Trabecular en el Cuello de la Escápula.

EDAD	SEXO	LADO	DIÁMETRO TRABECULAR EN EL CUELLO DE LA ESCÁPULA					
			< 2mm		2 – 3mm		> 3mm	
			N	%	N	%	N	%
20 – 30	M	D	10	29.4	-	-	-	-
		I	10	29.4	-	-	-	-
	F	D	7	20.6	-	-	-	-
		I	7	20.6	-	-	-	-
31- 40	M&F D&I		34	100	-	-	-	-
	M	D	12	35.3	-	-	-	-
		I	14	41.2	-	-	-	-
	F	D	4	11.8	-	-	-	-
I		4	11.8	-	-	-	-	
41 – 50	M&F D&I		34	100	-	-	-	-
	M	D	7	46.7	-	-	-	-
		I	6	40	-	-	-	-
	F	D	1	6.7	-	-	-	-
I		1	6.7	-	-	-	-	
51 – 60	M&F D&I		15	100	-	-	-	-
	M	D	-	-	10	31.2	-	-
		I	-	-	10	31.2	-	-
	F	D	-	-	6	18.7	-	-
I		-	-	6	18.7	-	-	
61 – 70	M&F D&I		-	-	32	100	-	-
	M	D	-	-	9	33.3	-	-
		I	-	-	9	33.3	-	-
	F	D	-	-	4	14.8	-	-
I		-	-	5	18.5	-	-	
71 – 80	M&F D&I		-	-	27	100	-	-
	M	D	-	-	-	-	7	17.9
		I	-	-	-	-	7	17.9
	F	D	-	-	-	-	17	43.6
I		-	-	-	-	18	46.1	
81 and older	M&F D&I		-	-	-	-	39	100
	M	D	-	-	-	-	7	20
		I	-	-	-	-	6	17.1
	F	D	-	-	-	-	11	31.4
		I	-	-	-	-	11	31.4
	M&F D&I		-	-	-	-	35	100

En la tabla anterior se observa un claro aumento de la edad paralelamente a un aumento del diámetro trabecular en la región del cuello de la escápula. En este caso se observan grupos etarios muy homogéneos.

Tabla 46. Porcentajes de aparición de la variable Diámetro Trabecular en el Borde Axilar de la Escápula.

EDAD	SEXO	LADO	DIÁMETRO TRABECULAR EN EL BORDE AXILAR DE LA ESCÁPULA					
			< 2mm		2 – 3mm		> 3mm	
			N	%	N	%	N	%
20 – 30	M	D	11	39.3	-	-	-	-
		I	10	35.7	-	-	-	-
	F	D	4	14.3	-	-	-	-
		I	3	10.7	-	-	-	-
	M&F	D&I	28	100	-	-	-	-
31- 40	M	D	10	38.5	-	-	-	-
		I	10	38.5	-	-	-	-
	F	D	3	11.5	-	-	-	-
		I	3	11.5	-	-	-	-
	M&F	D&I	26	100	-	-	-	-
41 – 50	M	D	-	-	10	26.3	-	-
		I	-	-	10	26.3	-	-
	F	D	-	-	9	23.7	-	-
		I	-	-	9	23.7	-	-
	M&F	D&I	-	-	38	100	-	-
51 – 60	M	D	-	-	10	33.3	-	-
		I	-	-	10	33.3	-	-
	F	D	-	-	5	16.6	-	-
		I	-	-	5	16.6	-	-
	M&F	D&I	-	-	30	100	-	-
61 – 70	M	D	-	-	8	40	-	-
		I	-	-	8	40	-	-
	F	D	-	-	2	10	-	-
		I	-	-	2	10	-	-
	M&F	D&I	-	-	20	100	-	-
71 – 80	M	D	-	-	-	-	7	16.3
		I	-	-	-	-	7	16.3
	F	D	-	-	-	-	14	32.5
		I	-	-	-	-	15	32.5
	M&F	D&I	-	-	-	-	43	100
81 and older	M	D	-	-	-	-	6	14.6
		I	-	-	-	-	7	17.0
	F	D	-	-	-	-	14	34.1
		I	-	-	-	-	14	34.1
	M&F	D&I	-	-	-	-	41	100

En la tabla anterior se observa un claro aumento de la edad paralelamente a un aumento del diámetro trabecular en la región del borde axilar de la escápula. En este caso se observan grupos etarios muy homogéneos (Tabla 46).

Tabla 47. Porcentaje de aparición de la variable Arquitectura Trabecular en el Cuello de la Escápula.

EDAD	SEXO	LADO	ARQUITECTURA TRABECULAR EN EL CUELLO DE LA ESCÁPULA							
			Paralela perfecta		Pérdida estruct paralela		Dispersa		Dispersa con regiones ausentes	
			N	%	N	%	N	%	N	%
20 - 30	M	D	5	25	2	10	-	-	-	-
		I	5	25	2	10	-	-	-	-
	F	D	3	15	-	-	-	-	-	-
		I	3	15	-	-	-	-	-	-
31- 40	M&F	D&I	16	80	4	20	-	-	-	-
	M	D	-	-	12	33.3	-	-	-	-
		I	-	-	12	33.3	-	-	-	-
	F	D	-	-	6	16.6	-	-	-	-
I		-	-	6	16.6	-	-	-	-	
41 - 50	M&F	D&I	-	-	36	100	-	-	-	-
	M	D	-	-	11	40.7	-	-	-	-
		I	-	-	10	37.1	-	-	-	-
	F	D	-	-	3	11.1	-	-	-	-
I		-	-	3	11.1	-	-	-	-	
51 - 60	M&F	D&I	-	-	27	100	-	-	-	-
	M	D	-	-	-	-	10	32.2	-	-
		I	-	-	-	-	10	32.2	-	-
	F	D	-	-	-	-	6	19.3	-	-
I		-	-	-	-	5	16.3	-	-	
61 - 70	M&F	D&I	-	-	-	-	31	100	-	-
	M	D	-	-	-	-	9	32.1	-	-
		I	-	-	-	-	9	32.1	-	-
	F	D	-	-	-	-	5	17.8	-	-
I		-	-	-	-	5	17.8	-	-	
71 - 80	M&F	D&I	-	-	-	-	28	100	-	-
	M	D	-	-	-	-	-	-	6	14.3
		I	-	-	-	-	-	-	7	16.6
	F	D	-	-	-	-	-	-	14	33.3
I		-	-	-	-	-	-	15	35.7	
81 and older	M&F	D&I	-	-	-	-	-	-	42	100
	M	D	-	-	-	-	-	-	7	16.6
		I	-	-	-	-	-	-	7	16.6
	F	D	-	-	-	-	-	-	14	33.3
		I	-	-	-	-	-	-	14	33.3
	M&F	D&I	-	-	-	-	-	-	42	100

En la tabla anterior se observa un claro aumento de la edad a medida que se modifica la estructura paralela del sistema trabecular en la región del cuello de la escápula. En este caso se observan grupos etarios muy homogéneos (Tabla 47).

Tabla 48. Porcentaje de aparición de la variable Arquitectura Trabecular en el Borde Axilar de la Escápula.

EDAD	SEXO	LADO	ARQUITECTURA TRABECULAR EN EL BORDE AXILAR DE LA ESCÁPULA							
			Paralela perfecta		Pérdida estruct paralela		Dispersa		Dispersa con regiones ausentes	
			N	%	N	%	N	%	N	%
20 - 30	M	D	5	20	4	16	-	-	-	-
		I	5	20	5	20	-	-	-	-
	F	D	3	12	-	-	-	-	-	-
		I	3	12	-	-	-	-	-	-
	M&F	D&I	16	64	9	36	-	-	-	-
31- 40	M	D	-	-	10	33.3	-	-	-	-
		I	-	-	10	33.3	-	-	-	-
	F	D	-	-	5	16.6	-	-	-	-
		I	-	-	5	16.6	-	-	-	-
	M&F	D&I	-	-	30	100	-	-	-	-
41 - 50	M	D	-	-	10	35.7	-	-	-	-
		I	-	-	10	35.7	-	-	-	-
	F	D	-	-	4	14.3	-	-	-	-
		I	-	-	4	14.3	-	-	-	-
	M&F	D&I	-	-	28	100	-	-	-	-
51 - 60	M	D	-	-	-	-	11	36.6	-	-
		I	-	-	-	-	8	26.6	-	-
	F	D	-	-	-	-	6	20	-	-
		I	-	-	-	-	5	16.7	-	-
	M&F	D&I	-	-	-	-	30	100	-	-
61 - 70	M	D	-	-	-	-	11	37.9	-	-
		I	-	-	-	-	8	27.6	-	-
	F	D	-	-	-	-	5	17.2	-	-
		I	-	-	-	-	5	17.2	-	-
	M&F	D&I	-	-	-	-	29	100	-	-
71 - 80	M	D	-	-	-	-	-	-	7	16.6
		I	-	-	-	-	-	-	7	16.6
	F	D	-	-	-	-	-	-	14	33.3
		I	-	-	-	-	-	-	14	33.3
	M&F	D&I	-	-	-	-	-	-	42	100
81 and older	M	D	-	-	-	-	-	-	7	16.6
		I	-	-	-	-	-	-	6	14.3
	F	D	-	-	-	-	-	-	14	33.3
		I	-	-	-	-	-	-	15	35.7
	M&F	D&I	-	-	-	-	-	-	42	100

En la tabla anterior se observa un claro aumento de la edad a medida que se aprecia una pérdida de la estructura paralela en el sistema trabecular de la región del borde axilar de la escápula. En este caso se observan grupos etarios muy homogéneos (Tabla 48).

➤ ESTUDIO ESTADÍSTICO: ANÁLISIS DE LA VARIANZA

El análisis de la varianza (ANOVA) permite averiguar si existen diferencias, no debidas al azar, entre las medias de dos factores con respecto a una variable dependiente. En este caso nos permite saber, dentro de cada variable, qué grupos son significativamente diferentes con respecto a la edad.

Tabla 49. Resultados del análisis de la varianza ANOVA.

ANOVA. Inter-grupos						
Variable	Sexo	Suma de cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	Nivel de Significación
TDC	M	1236.12	123	658.49	74.15	0.001
	F	1196.83	101	599.73	72.53	0.001
TDB	M	1282.27	123	682.15	81.17	0.001
	F	1211.96	101	620.37	79.88	0.001
TAC	M	1143.23	123	593.87	73.49	0.001
	F	1187.17	101	601.48	72.88	0.001
TAB	M	1293.38	123	647.47	80.12	0.001
	F	1284.66	101	653.60	81.84	0.001

En el análisis de ANOVA se aprecian diferencias significativas ($p < 0.001$) en todas las variables en el estudio inter-grupos (Tabla 49). Esto significa que hay diferencias, no debidas al azar, entre algunos de los grupos que forman el factor de separación de cada una de las variables. A continuación se ha realizado un análisis de subconjuntos homogéneos de Duncan para poder discernir qué grupos son los presentan mayores diferencias con respecto a sus medias.

Tabla 50. Resultado del estudio de subconjuntos homogéneos DUNCAN. Variable Diámetro Trabecular en el Cuello de la Escápula.

DIÁMETRO TRABECULAR EN EL CUELLO DE LA ESCÁPULA								
Subconjuntos Homogéneos. DUNCAN								
Factor de Clasificación	Hombres. Subconjuntos				Mujeres. Subconjuntos			
	95%				95%			
	N	1	2	3	N	1	2	3
< 2mm	59	40.86			24	37.52		
2 - 3mm	38		62.30		21		59.98	
>3mm	27			80.08	57			81.94
Nivel del significación		0.358	0.642	0.299		0.096	0.289	0.431

En la tabla anterior se observa que existen diferencias entre los tres subgrupos que clasifica el factor de agrupación, tanto en el caso de hombres como en el de mujeres (Tabla 50).

Tabla 51. Resultados del análisis de subconjuntos homogéneos DUNCAN. Variable Diámetro Trabecular en el Cuello de la Escápula.

DIÁMETRO TRABECULAR EN EL BORDE AXILAR DE LA ESCÁPULA								
Factor de Clasificación	Subconjuntos Homogéneos. DUNCAN							
	Hombres. Subconjuntos				Mujeres. Subconjuntos			
	N	1	2	3	N	1	2	3
< 2mm	41	30.26			13	29.84		
2 - 3mm	56		60.12		32		59.42	
>3mm	27			80.47	57			80.26
Nivel del significación		0.218	0.670	0.395		0.246	0.210	0.081

Al igual que en el caso anterior, se observa que existen diferencias entre los tres subgrupos que clasifica el factor de agrupación, tanto en el caso de hombres como en el de mujeres (Tabla 51).

Tabla 52. Resultado del análisis de subconjuntos homogéneos DUNCAN. Variable Arquitectura Trabecular en el Cuello de la Escápula.

ARQUITECTURA TRABECULAR EN EL CUELLO DE LA ESCÁPULA									
Factor de Clasificación	Subconjuntos homogéneos. DUNCAN								
	Hombres. Subconjuntos 95%					Mujeres. Subconjuntos 95%			
	N	1	2	3	4	N	1	2	3
Paralela Perfecta	10	24.32				6	25.08		
Paralela Imperfecta	49		39.26			18		39.22	
Dispersa Incipiente	38			59.88		21			61.30
Dispersa Ausencias	27				79.13	57			81.48
Nivel del significación		0.475	0.392	0.282	0.108		0.223	0.639	0.114

En la tabla anterior se observan diferencias entre los cuatro subgrupos que clasifica el factor de agrupación, tanto en el caso de hombres como en el de mujeres (Tabla 52).

Tabla 53. Resultado del análisis de subconjuntos homogéneos DUNCAN. Variable Arquitectura Trabecular en el Borde Axilar de la Escápula.

ARQUITECTURA TRABECULAR EN EL BORDE AXILAR DE LA ESCÁPULA										
Factor de Clasificación	Subconjuntos homogéneos. DUNCAN									
	Hombres. Subconjuntos 95%					Mujeres. Subconjuntos 95%				
	N	1	2	3	4	N	1	2	3	4
Paralela Perfecta	10	24.70				6	26.48			
Paralela Imperfecta	29		40.18			18		40.18		
Dispersa Incipiente	38			61.32		21			61.29	
Dispersa Ausencias	27				80.74	57				81.04
Nivel del significación		0.158	0.492	0.371	0.128		0.236	0.422	0.113	0.297

En la tabla anterior se observan diferencias entre los cuatro subgrupos que clasifica el factor de agrupación, tanto en el caso de hombres como en el de mujeres (Tabla 53).

➤ RESULTADOS DEL ESTUDIO ESTADÍSTICO: RESUMEN DEL TEST DE ANOVA Y DEL TEST DE SUBCONJUNTOS HOMOGÉNEOS

A continuación se muestra el resumen de los resultados obtenidos a través de las pruebas estadísticas (Tablas 54 y 55). En cada tabla se muestran las variables y los factores de agrupación para cada una de ellas, así como los grupos etarios que corresponden en cada caso.

Los resultados se muestran divididos en función del sexo:

Tabla 54. Resumen de los resultados obtenidos en las pruebas estadísticas. Sexo masculino.

TDC		TDB		TAC		TAB	
Factor	Edad	Factor	Edad	Factor	Edad	Factor	Edad
< 2 mm	20-50	< 2 mm	20-40	Paralelo Perfecto	20-30	Paralelo Perfecto	20-30
2 – 3 mm	50-70	2 – 3 mm	40-70	Paralelo Imperfecto	30-50	Paralelo Imperfecto	30-50
>3mm	70+	>3mm	70+	Disperso Incipiente	50-70	Disperso Incipiente	50-70
				Disperso Ausencias	70+	Disperso Ausencias	70+

Tabla 55. Resumen de los resultados obtenidos en las pruebas estadísticas. Sexo femenino.

TDC		TDB		TAC		TAB	
Factor	Edad	Factor	Edad	Factor	Edad	Factor	Edad
< 2 mm	20-50	< 2 mm	20-40	Paralelo Perfecto	20-30	Paralelo Perfecto	20-30
2 – 3 mm	50-70	2 – 3 mm	40-70	Paralelo Imperfecto	30-50	Paralelo Imperfecto	30-50
>3mm	70+	>3mm	70+	Disperso Incipiente	50-70	Disperso Incipiente	50-70
				Disperso Ausencias	70+	Disperso Ausencias	70+

➤ ESTUDIO ESTADÍSTICO: TEST DE VALIDACIÓN

El test de validación se ha realizado para comprobar que porcentaje de acierto proporciona cada una de las variables de estudio al incluir una muestra ajena a la investigación en cada grupo etario (Tabla 56).

Tabla 56. Resultados del test de validación. Separado por sexos.

Hombres			Mujeres		
Variable de estudio	N	% Inclusión dentro del intervalo etario	Variable de estudio	N	% Inclusión dentro del intervalo etario
TDC	15	90%	TDC	15	85%
TDB	15	85%	TDB	15	85%
TAC	15	80%	TAC	15	80%
TAB	15	80%	TAB	15	80%

ESTUDIO MORFOLÓGICO DE LA ESCÁPULA: DESCRIPCIÓN DE PATRONES DEGENERATIVOS EN FUNCIÓN DE LOS GRUPOS ETARIOS.

Los resultados, al igual que en los casos anteriores se han separado por sexos, en primer lugar se muestran las descripciones morfológicas que se han asociado con los diferentes grupos de edad en varones y segundo lugar las que se relacionan con mujeres.

En ambos casos, los grupos de edad se han creado en base a los resultados que han proporcionado los estudios estadísticos de análisis de la varianza y clasificación en subconjuntos homogéneos.

Sexo Masculino

A continuación se muestran las imágenes de las escápulas y las descripciones que se han realizado de los grupos de edad.

GRUPO DE EDAD (20 – 30 años)

En el primer grupo de edad se observan escápulas con bastante densidad ósea. El diámetro trabecular en las regiones del cuello y del borde axilar son menores de 2mm en todos los casos. Por otro lado, la arquitectura del sistema trabecular se manifiesta siempre de manera que se observan líneas perfectamente paralelas de trabéculas en ambas regiones (Figura 60).



**Figura 60. Radiografía de escápula derecha.
Varón de 25 años.**

GRUPO DE EDAD (30 – 60 años)

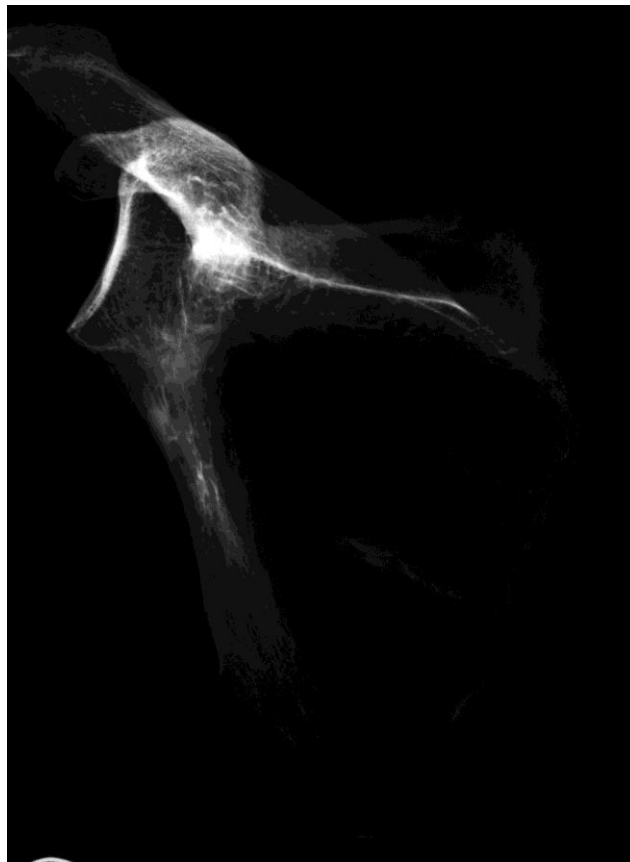
Se aprecia una disminución de la densidad ósea que queda bien reflejada por la diferencia de color en las radiografías. El diámetro trabecular aumenta en las regiones del cuello y del borde axilas de entre 2 y 3mm. En cuanto a la arquitectura del sistema trabecular se aprecian líneas paralelas de trabéculas, aunque con alguna interrupción, que quedad patente sobre todo en la región del borde axilar (Figura 61).



Figura 61. RAdiografía de escápula derecha. Varón de 46 años.

GRUPO DE EDAD (50 – 70 años)

El entramado trabecular en este grupo etario se mantiene constante ya que se pueden encontrar diámetros trabeculares que oscilen entre los 2 y 3mm, observándose también en algunos casos trabéculas con más de 3mm de diámetro. La densidad de la materia ósea reflejada en el color de la radiografía parece menor que en el grupo anterior. Donde sí se observa una variación bastante grande es a nivel de la arquitectura trabecular que estos casos se muestra dispersa, sin ningún resto de disposición paralela (Figura 62).



**Figura 62. Radiografía de escápula derecha.
Varón de 62 años.**

GRUPO DE EDAD (Mayor de 70 años)

A partir de este grupo de edad sí se experimenta un cambio muy evidente en el sistema trabecular de las regiones del cuello y del borde axilar. Se observa una disminución del número de trabéculas y un aumento de su diámetro, superando en todos los casos los 3mm. Además, en cuanto a la arquitectura del sistema trabecular se aprecia una disposición dispersa con regiones ausentes de trabéculas, que pueden llegar a alcanzar hasta 1cm de longitud (Figura 63).



**Figura 63. Radiografía de escápula derecha.
Varón de 87 años.**

Sexo Femenino

Al igual que en el caso de los hombres, se han establecido 4 grupos de edad y en cada uno de ellos se muestra una imagen de una escápula y una descripción morfológica de ésta. Los grupos se muestran a continuación:

GRUPO DE EDAD (20 – 30 años)

La densidad ósea de este grupo etario es muy alta observándose estructuras trabeculares densas y compactas. El diámetro trabecular en las regiones del cuello y del borde axilar son menores de 2mm en todos los casos. Por otro lado, en la arquitectura del sistema trabecular que se observan líneas perfectamente paralelas de trabéculas, en ambas regiones (Figura 64).



Figura 64. Radiografía de escápula derecha. Mujer de 24 años.

GRUPO DE EDAD (30 – 60 años)

En este grupo etario se observa una disminución de la densidad ósea en toda la superficie de la escápula. El diámetro trabecular aumenta en las regiones del cuello y del borde axilas, oscilando entre 2 y 3mm. En cuanto a la arquitectura del sistema trabecular se aprecian líneas paralelas de trabéculas, aunque se observa alguna interrupción, que se manifiesta sobre todo en la región del borde axilar (Figura 65).



Figura 65. Radiografía de escápula derecha. Mujer de 47 años.

GRUPO DE EDAD (50 – 70 años)

El entramado trabecular en este grupo etario se mantiene más o menos constante. Aunque que se pueden encontrar diámetros trabeculares mayores de 3mm en algunos casos, la mayoría oscilan entre los 2 y 3mm. La densidad de la materia ósea disminuye mucho, lo que se observa claramente en el color de las radiografías. La arquitectura trabecular, por su parte, si sufre una variación bastante grande ya que se muestra dispersa en la mayoría de los casos, sin ningún resto de disposición paralela (Figura 66).



Figura 66. Radiografía de escápula derecha. Mujer de 63 años.

GRUPO DE EDAD (Mayor de 70 años)

A partir de los 70 años sí se experimenta un cambio muy evidente en el sistema trabecular de las regiones del cuello y del borde axilar. Se observa una disminución del número de trabéculas y un aumento de su diámetro, superando en todos los casos los 3mm. La densidad ósea disminuye mucho debido a la pérdida de materia ósea, que es más evidente en las mujeres que en los hombres. Además, en cuanto a la arquitectura del sistema trabecular se aprecia una disposición dispersa con regiones ausentes de trabéculas, que pueden llegar a alcanzar hasta 1cm de longitud (Figura 67).



Figura 67. Radiografía de escápula derecha. Mujer de 84 años.

12.1.4 RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ESTERNÓN: ESTUDIO MORFOLÓGICO

➤ RESULTADOS DEL ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LAS VARIABLES DE ESTUDIO

Las siguientes tablas muestran los resultados del análisis descriptivo de las dos variables que han sido objeto de estudio: fusión de la articulación manubrioesternal (AME) y fusión de la articulación xifoesternal (AXE).

Los resultados se muestran separados por variables:

Tabla 57. Resultados del estudio descriptivo. Variable Fusión en la Articulación Manubrioesternal.

ARTICULACIÓN MANUBRIOESTERNAL										
Fases	Hombres					Mujeres				
	N	Mín edad	Máx edad	Media edad	SD edad	N	Mín edad	Máx edad	Media edad	SD edad
Ausencia de Fusión	80	20	91	51.43	17.61	50	21	91	64.68	18.75
Fusión Parcial	7	28	84	62.14	18.14	8	34	83	67.88	16.58
Fusión Completa	8	33	86	66.38	20.55	4	39	85	60.00	21.69

Tabla 58. Resultados del estudio descriptivo. Variable Fusión de la Articulación Xifoesternal.

ARTICULACIÓN XIFOESTERNAL										
Fases	Hombres					Mujeres				
	N	Mín edad	Máx edad	Media edad	SD edad	N	Mín edad	Máx edad	Media edad	SD edad
Ausencia de Fusión	47	28	91	51.79	18.20	33	21	92	60.48	20.66
Fusión Parcial	27	20	85	58.07	17.09	18	36	88	68.89	12.78
Fusión Completa	12	31	86	52.00	19.29	7	45	87	75.00	14.69

Los resultados de las dos tablas anteriores indican que no existe un patrón homogéneo de variación de la edad en función de los factores de clasificación en ninguna de las dos variables de estudio (Tablas 57 y 58).

➤ **ESTUDIO ESTADÍSTICO: RESULTADOS DE LA FIABILIDAD EN LA TOMA DE MEDIDAS Y REPRODUCIBILIDAD DE LA TÉCNICA**

La siguiente tabla muestra los resultados del error intraobservador que sirve para averiguar la fiabilidad en la toma de medidas, y los resultados del error interobservador que aportan información sobre la repetitividad de la técnica empleada.

Para conocer qué grado de fiabilidad y reproducibilidad tiene la técnica empleada se ha realizado una prueba llamada Coeficiente de *Kappa*

Tabla 59. Resultados del Coeficiente *Kappa*.

Variables	N	Error intraobservador		Error Interobservador	
		Coeficiente <i>Kappa</i>	Valor de significación ^a	Coeficiente <i>Kappa</i>	Valor de significación ^a
AME	30	0.842	0.001	0.857	0.001
AXE	30	0.876	0.001	0.802	0.001

AME (Articulación Manubrioesternal), AXE (Articulación Xifoesternal)

^a Nivel de significación (0.05)

Los resultados muestran que el Coeficiente de Kappa es muy cercano a 1 en ambas variables (Tabla 59). Esto indica que el grado de fiabilidad es muy alto, tanto en la repetitividad de la toma de medidas, como en la reproducibilidad de la técnica empleada.

➤ **ESTUDIO ESTADÍSTICO: COMPARACIÓN DE MEDIAS EN FUNCIÓN DEL GÉNERO**

A continuación se muestran los resultados obtenidos de la prueba T-student para muestras independientes, que se ha realizado con el fin de averiguar si existen diferencias significativas entre sexos.

Anteriormente, se ha realizado una prueba de Levene para comprobar la homocedasticidad de la población de estudio. En ambos casos se cumple la homogeneidad de las varianzas ($p > 0.05$). Además, la población sigue una curva normal ($n > 30$) por lo que se pueden aplicar estadísticos paramétricos.

Tabla 60. Resultados de la prueba Levene y de la prueba T-student.

Variables	Prueba de Levene		T-student independientes			
	F	p^a	t	p^a	SD ^b	SE ^c
AME	0.016	0.91	-0.17	0.86	-0.16	0.096
AXE	0.145	0.70	0.34	0.73	0.41	0.122

AME (Articulación Manubrioesternal), AXE (Articulación Xifoesternal)

^a Nivel de significación (0.05)

^b Desviación estándar

^c Error Estándar

^d Diferencia media entre lado derecho e izquierdo en centímetros.

Los resultados indican que no existen diferencias entre sexos en ninguna de las dos variables de estudio ($p > 0.05$) (Tabla 60). No obstante, se ha decidido segmentar la muestra en función del sexo basándose en los resultados obtenidos previamente en otras investigaciones.

➤ ESTUDIO ESTADÍSTICO: PORCENTAJE DE APARICIÓN DE CADA VARIABLE POR GRUPOS DE EDAD

A continuación se muestran los porcentajes de aparición de cada variable en función del factor de agrupación y de los grupos etarios.

Tabla 61. Porcentaje de aparición. Variable Fusión de la Articulación Manubrioesternal.

EDAD	SEXO	ARTICULACIÓN MANUBRIOESTERNAL					
		Ausencia de Fusión		Fusión Parcial		Fusión Complete	
		N	%	N	%	N	%
20 – 30	M	14	63.63	-	-	-	-
	F	8	36.36	-	-	-	-
	M&F	22	100	-	-	-	-
31- 40	M	11	42.31	2	7.69	2	7.68
	F	7	26.92	3	11.53	1	3.84
	M&F	18	69.23	5	19.23	3	11.53
41 – 50	M	12	63.16	-	-	2	10.52
	F	4	21.05	1	5.26	-	-
	M&F	16	84.21	1	5.26	2	10.52
51 – 60	M	16	48.48	3	9.09	1	3.03
	F	10	30.3	1	3.03	2	6.06
	M&F	26	78.78	4	12.12	3	9.09
61 – 70	M	14	82.35	-	-	-	-
	F	2	11.76	1	5.88	-	-
	M&F	16	94.11	1	5.88	-	-
71 – 80	M	9	36	2	8	2	8
	F	11	44	-	-	1	4
	M&F	20	80	2	8	3	12
81 and older	M	4	25	-	-	1	6.25
	F	8	50	3	18.75	-	-
	M&F	12	75	3	18.75	1	6.25

Tabla 62. Porcentaje de aparición de la variable Fusión de la Articulación Xifoesternal.

EDAD	SEXO	ARTICULACIÓN XIFOESTERNAL					
		Ausencia de Fusión		Fusión Parcial		Fusión Complete	
		N	%	N	%	N	%
20 - 30	M	9	45	6	30	-	-
	F	5	25	-	-	-	-
	M&F	14	70	6	30	-	-
31- 40	M	7	33.33	4	19.04	2	9.52
	F	5	23.80	3	14.28	-	-
	M&F	12	57.14	7	33.33	2	9.52
41 - 50	M	10	37.03	4	14.81	4	14.81
	F	4	14.81	3	11.11	2	7.40
	M&F	14	51.85	7	25.92	6	22.22
51 - 60	M	5	25	3	15	2	10
	F	3	15	6	30	1	5
	M&F	8	40	9	45	3	15
61 - 70	M	8	33.33	2	8.33	2	8.33
	F	7	29.16	4	16.66	1	4.16
	M&F	15	62.5	6	25	3	12.5
71 - 80	M	5	29.40	6	35.28	1	5.88
	F	2	11.76	1	5.88	2	11.76
	M&F	7	41.17	7	41.17	3	17.64
81 and older	M	3	19.99	2	13.33	1	6.65
	F	7	46.66	1	6.66	1	6.65
	M&F	10	66.66	3	20	2	13.33

En ninguna de las dos variables se observa un patrón estable con respecto a la edad (Tablas 61 y 62). Lo que indica que no existe relación entre los factores de clasificación y los diferentes grupos etarios.

➤ ESTUDIO ESTADÍSTICO: ANÁLISIS DE LA VARIANZA

El análisis de la varianza (ANOVA) permite averiguar si existen diferencias, no debidas al azar, entre las medias de dos factores con respecto a una variable dependiente. En este caso nos permite saber, dentro de cada variable, qué grupos son significativamente diferentes con respecto a la edad.

Tabla 63. Resultados del análisis de la varianza ANOVA.

ANOVA. Inter-grupos						
Variable	Sexo	Suma de cuadrados	Gl	Media Cuadrática	F	Nivel de Significación
AME	M	2193.40	94	1096.70	3.43	0.137
	F	168.519	61	84.26	0.242	0.786
AXE	M	722.508	85	321.254	1.11	0.333
	F	1643.583	57	821.792	2.55	0.087

En el análisis de ANOVA no se aprecian diferencias significativas ($p < 0.001$) en ninguna de las variables en el estudio inter-grupos (Tabla 63). Esto significa que no hay diferencias entre los grupos que forman el factor de separación de cada una de las variables.

A continuación se ha realizado un análisis de subconjuntos homogéneos de Duncan que sirve para discernir qué grupos son los presentan mayores diferencias con respecto a sus medias, en caso de que los haya.

Tabla 64. Resultado del análisis de subconjuntos homogéneos DUNCAN. Variable Fusión de la Articulación Manubrioesternal.

ARTICULACIÓN MANUBRIOESTERNAL				
Subconjuntos Homogéneos. DUNCAN				
Factor de Clasificación	Hombres. Subconjuntos 95%		Mujeres. Subconjuntos 95%	
	N	1	N	1
Ausencia de Fusión	80	51.43	50	60.00
Fusión Parcial	7	62.14	8	64.68
Fusión Completa	8	66.38	4	67.88
Nivel del significación	0.070		0.444	

Tabla 65. Resultados del análisis de subconjuntos homogéneos DUNCAN. Variable Fusión de la Articulación Xifoesternal.

ARTICULACIÓN XIFOESTERNAL				
Subconjuntos Homogéneos. DUNCAN				
Factor de Clasificación	Hombres. Subconjuntos 95%		Mujeres. Subconjuntos 95%	
	N	1	N	1
Ausencia de Fusión	47	51.79	33	60.48
Fusión Parcial	27	58.07	18	68.89
Fusión Completa	12	52.00	7	75.00
Nivel del significación	0.289		0.054	

Los resultados de las tablas anteriores muestran que no existen subgrupos diferentes en ninguna de las variables de estudio (Tablas 64 y 65).

12.2 RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS RELATIVOS A LA ESTIMACIÓN DE LA MAYORÍA DE EDAD LEGAL EN SUJETOS VIVOS.

12.2.1 LA CLAVÍCULA Y EL HÚMERO: RESULTADOS OBTENIDOS A TRAVÉS DEL ESTUDIO DEL CIERRE EPIFISARIO

➤ RESULTADOS DEL ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LAS VARIABLES DE ESTUDIO

Las siguientes tablas muestran los resultados del análisis descriptivo de las dos variables que han sido objeto de estudio: cierre epifisario en la extremidad esternal de la clavícula (FC) y cierre epifisario en la región proximal del húmero (FH).

Los resultados se muestran separados por variables:

Tabla 66. Resultados del estudio descriptivo de la variable Cierre Epifisario en la Extremidad Esternal de la Clavícula.

CIERRE EPIFISARIO EN LA EXTREMIDAD ESTERNAL DE LA CLAVÍCULA											
Fases	L	Hombres					Mujeres				
		N	Min edad	Máx edad	Media edad	SD edad	N	Mín edad	Máx edad	Media edad	SD edad
FASE 0	D	19	5	18	14.36	2.59	16	5	18	15.12	2.58
	I	19	5	18	14.64	1.96	16	5	18	14.75	1.94
FASE 1	D	28	16	21	18.62	3.04	57	16	20	17.84	2.37
	I	28	16	21	18.23	2.74	57	16	20	17.63	2.10
FASE 2	D	17	18	22	19.81	2.55	45	18	22	18.47	2.46
	I	17	18	22	19.10	2.93	45	18	22	18.90	1.84
FASE 3	D	11	19	30	23.17	2.77	28	18	30	22.93	3.14
	I	11	19	30	22.88	3.21	28	18	30	22.47	2.67

Tabla 67. Resultados del estudio descriptivo de la variable Cierre Epifisario en la Extremidad Proximal del Húmero.

CIERRE EPIFISARIO EN LA EXTREMIDAD PROXIMAL DEL HÚMERO											
Fases	L	Hombres					Mujeres				
		N	Min edad	Máx edad	Media edad	SD edad	N	Mín edad	Máx edad	Media edad	SD edad
FASE 0	D	5	5	7	6.04	2.36	7	5	5	5	0
	I	5	5	7	6.18	2.87	7	5	5	5	0
FASE 1	D	14	8	11	8.95	2.41	18	7	10	9.32	2.14
	I	14	8	11	9.31	1.98	18	7	10	9.27	2.08
FASE 2	D	6	10	13	12.11	3.47	10	10	11	10.25	3.51
	I	6	10	13	11.87	3.06	10	10	11	10.64	3.49
FASE 3	D	6	13	15	14.85	2.59	14	13	15	15.21	1.98
	I	6	13	15	14.52	2.40	14	13	15	14.81	2.23
FASE 4	D	13	16	17	16.77	2.88	39	15	16	17.54	2.60
	I	13	16	17	17.23	2.09	39	15	16	17.63	2.81
FASE 5	D	31	17	30	22.84	3.46	58	17	30	23.74	2.67
	I	31	17	30	22.91	3.29	58	17	30	22.99	2.94

En las dos tablas anteriores se muestran los resultados del estudio descriptivo de cada una de las variables implicadas en el estudio del cierre metafisario de la extremidad distal de la clavícula y de la epífisis proximal del húmero. En todas ellas se observa un claro aumento de la edad a medida que también lo hace el factor de clasificación, que en ambos casos está basado en el grado de fusión de las epífisis a la diáfisis (Tablas 66 y 67).

En este caso, la media de edad de las mujeres ($16.9 \text{ años} \pm 6.23$) es 3 años más baja que la media de los varones ($20.20 \text{ años} \pm 3.78$).

➤ **ESTUDIO ESTADÍSTICO: RESULTADOS DE LA FIABILIDAD EN LA TOMA DE MEDIDAS Y REPRODUCIBILIDAD DE LA TÉCNICA.**

La siguiente tabla muestra los resultados del error intraobservador que sirve para averiguar la fiabilidad en la toma de imágenes ecográficas y su correcta clasificación dentro de las categorías establecidas por el factor de clasificación, y los resultados del error interobservador que aportan información sobre la repetitividad de la técnica empleada por otros investigadores.

Para conocer qué grado de fiabilidad y reproducibilidad tiene la técnica empleada se ha realizado una prueba del Coeficiente de Cohen Kappa (*Kappa*).

Tabla 68. Resultados del Coeficiente de *Kappa*.

Variables	N	Error intraobservador		Error Interobservador	
		Coeficiente <i>Kappa</i>	Valor de significación ^a	Coeficiente <i>Kappa</i>	Valor de significación ^a
FC	30	0.862	0.001	0.839	0.001
FH	30	0.884	0.001	0.860	0.001

FC (Cierre epifisario en la extremidad esternal de la clavícula), FH (Cierre epifisario en la extremidad proximal del húmero)

^a Nivel de significación (0.05)

El coeficiente de Cohen Kappa es un indicador de fiabilidad que oscila entre 0 y 1, siendo mayor el grado de fiabilidad en las variables que presentan el coeficiente más cercano a 1.

Los resultados de la tabla anterior muestran que las dos variables presentan un coeficiente cercano a 1, siendo ligeramente mayor el coeficiente en el caso del Error Intraobservador ($k > 0.8$) (Tabla 68).

➤ ESTUDIO ESTADÍSTICO: COMPARACIÓN DE MEDIAS EN FUNCIÓN DE LA LATERALIDAD Y EL GÉNERO

En primer lugar, es necesario conocer si la población de estudio sigue una distribución normal, así como si se cumple el supuesto de homocedasticidad. En este caso, los resultados indican que se trata de una población normal ($n > 30$), y gracias a los resultados de la prueba de Levene ($p > 0.05$), también se entiende que existe igualdad de varianzas. Por estas razones, se ha realizado un análisis estadístico basado en pruebas paramétricas.

Para averiguar si existen diferencias significativas entre en función del sexo y del lado, se han realizado pruebas T-student para muestras independientes y para muestras relacionadas, respectivamente. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 69. Resultados de la prueba de Levene y de la prueba T-student.

Variables	Prueba de Levene		T-student independientes				T-student relacionadas				
	F	p^a	t	p^a	SD ^b	SE ^c	X (D-I) ^d	SD ^b	SE ^c	t	p^a
FC	4.84	0.87	4.66	0.02	1.62	0.15	-0.72	0.36	0.21	2.97	0.06
FH	6.32	0.19	3.96	0.01	1.29	0.18	-0.54	0.50	0.23	1.88	0.23

FC (Cierre epifisario en la extremidad esternal de la clavícula), FH (Cierre epifisario en la extremidad proximal del húmero)

^a Nivel de significación (0.05)

^b Desviación estándar

^c Error Estándar

^d Diferencia media entre el lado derecho y el izquierdo en centímetros.

En la prueba T-student para muestras independientes se observan niveles de significación inferiores a 0.05, lo que indica que existen diferencias significativas entre ambos sexos, en las dos variables de estudio. Sin embargo, en el caso de la lateralidad, la prueba T-student para muestras relacionadas, indican valores superiores a 0.05, lo que indica que no existen diferencias significativas en función del lado (Tabla 69).

Por estas razones, se ha decidido segmentar la muestra en función del sexo.

➤ **ESTUDIO ESTADÍSTICO: PORCENTAJE DE APARICIÓN DE CADA VARIABLE POR GRUPOS DE EDAD.**

A continuación se muestran los porcentajes de aparición de cada una de las variables de estudio en función de las diferentes fases en que se divide el factor de agrupación. Además, se ha segmentado la muestra por grupos de edad de 1 año (desde los 5 hasta los 30 años).

Tabla 70. Porcentajes de aparición de la variable Cierre Epifisario en la Extremidad Externa de la Clavícula.

CIERRE EPIFISARIO EN LA EXTREMIDAD EXTERNA DE LA CLAVÍCULA																					
EDAD		FASE 0					FASE 1					FASE 2					FASE 3				
		M		F		M&F	M		F		M&F	M		F		M&F	M		F		M&F
		D	I	D	I	D&I	D	I	D	I	D&I	D	I	D	I	D&I	D	I	D	I	D&I
5 AÑOS	N	3	3	1	1	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	%	37.5	37.5	12.5	12.5	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6 AÑOS	N	1	1	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	%	50	50	-	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7 AÑOS	N	1	1	1	1	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	%	25	25	25	25	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8 AÑOS	N	2	2	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	%	50	50	-	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9 AÑOS	N	7	7	3	3	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	%	35	35	15	15	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10 AÑOS	N	4	4	2	2	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	%	33.3	33.3	16.6	16.6	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11 AÑOS	N	1	1	1	1	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	%	25	25	25	25	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12 AÑOS	N	1	1	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	%	50	50	-	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13 AÑOS	N	2	2	1	1	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	%	33.3	33.3	16.6	16.6	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14 AÑOS	N	1	1	1	1	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	%	25	25	25	25	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15 AÑOS	N	1	1	2	2	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	%	16.6	16.6	33.3	33.3	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16 AÑOS	N	1	1	-	-	2	-	-	1	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	%	25	25	-	-	50	-	-	25	25	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17 AÑOS	N	1	1	-	-	2	1	1	1	1	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	%	16.6	16.6	-	-	33.3	16.6	16.6	16.6	16.6	66.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18 AÑOS	N	1	1	-	-	2	7	7	4	4	22	2	2	17	17	38	-	-	2	2	4
	%	1.5	1.5	-	-	3	10.6	10.6	6.1	6.1	33.3	3	3	25.8	25.8	57.6	-	-	3	3	6
19 AÑOS	N	-	-	-	-	-	4	4	20	20	48	3	3	8	8	22	1	1	1	1	4
	%	-	-	-	-	-	5.4	5.4	27	27	64.8	3.7	3.7	10.8	10.8	29.7	1.3	1.3	1.3	1.3	5.4
20 AÑOS	N	-	-	-	-	-	1	1	1	1	4	-	-	12	12	24	1	1	4	4	10
	%	-	-	-	-	-	2.6	2.6	2.6	2.6	10.5	-	-	31.5	31.5	63.1	2.6	2.6	10.5	10.5	26.3
21 AÑOS	N	-	-	-	-	-	1	1	-	-	2	1	1	5	5	12	2	2	10	10	24
	%	-	-	-	-	-	2.6	2.6	-	-	5.3	2.6	2.6	13.2	13.2	31.6	5.3	5.3	26.3	26.3	63.1
22 AÑOS	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2	3	3	10	2	2	5	5	14
	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.3	8.3	12.5	12.5	41.6	8.3	8.3	20.8	20.8	58.4
23 AÑOS	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2	10	10	24
	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.3	8.3	41.6	41.6	100
24 AÑOS	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2	3	3	10
	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	20	30	30	100
25 AÑOS	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	3	4	4	14
	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21.4	21.4	28.6	28.6	100
26 AÑOS	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2	5	5	14
	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14.3	14.3	37.7	37.7	100
27 AÑOS	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	5	6	6	22
	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22.7	22.7	27.3	27.3	100
28 AÑOS	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	4	6	6	20
	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	20	30	30	100
29 AÑOS	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2	5	5	14
	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14.3	14.3	37.5	37.5	100

Tabla 71. Porcentaje de aparición de la variable Cierre Epifisario en la Extremidad Proximal del Húmero.

CIERRE EPIFISARIO EN LA EXTREMIDAD PROXIMAL DEL HÚMERO																															
EDAD		FASE 0					FASE 1					FASE 2					FASE 3					FASE 4					FASE 5				
		M		F		M&F	M		F		M&F	M		F		M&F	M		F		M&F	M		F		M&F	M		F		M&F
		D	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D	I
5 AÑOS	N	3	3	1	1	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	%	37.5	37.5	12.5	12.5	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6 AÑOS	N	1	1	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	%	50	50	-	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7 AÑOS	N	1	1	-	-	2	-	-	1	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	%	25	25	-	-	50	-	-	25	25	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8 AÑOS	N	-	-	-	-	-	2	2	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	%	-	-	-	-	-	50	50	-	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9 AÑOS	N	-	-	-	-	-	7	7	3	3	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	%	-	-	-	-	-	35	35	15	15	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10 AÑOS	N	-	-	-	-	-	2	2	1	1	6	2	2	1	1	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	%	-	-	-	-	-	16.6	16.6	8.3	8.3	50	16.6	16.6	8.3	8.3	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11 AÑOS	N	-	-	-	-	-	1	1	-	-	2	-	-	1	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	%	-	-	-	-	-	25	25	-	-	50	-	-	25	25	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12 AÑOS	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50	50	-	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13 AÑOS	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	2	1	1	1	1	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16.5	16.5	-	-	33.3	16.6	16.6	16.6	16.6	66.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14 AÑOS	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16.6	16.6	16.6	16.6	66.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15 AÑOS	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	4	-	-	1	1	2	-	-	-	-	-	-
	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16.6	16.6	16.6	16.6	66.6	-	-	16.5	16.5	33.3	-	-	-	-	-	-
16 AÑOS	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	4	-	-	-	-	-	-
	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25	25	25	25	100	-	-	-	-	-	-
17 AÑOS	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	2	1	1	1	1	4	-
	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16.5	16.5	-	-	33.3	16.6	16.6	16.6	16.6	66.6	-
18 AÑOS	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	10	23	23	66	-
	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15.1	15.1	34.8	34.8	100	-
19 AÑOS	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	8	29	29	74	-
	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10.81	10.81	39.2	39.2	100	-
20 AÑOS	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2	18	18	40	-
	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	5	45	45	100	-
21 AÑOS	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	4	15	15	38	-
	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10.5	10.5	39.5	39.5	100	-
22 AÑOS	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	4	8	8	24	-
	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16.6	16.6	33.3	33.3	100	-
23 AÑOS	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2	10	10	24	-
	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.3	8.3	41.6	41.6	100	-
24 AÑOS	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2	3	3	10	-
	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	20	30	30	100	-
25 AÑOS	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	3	4	4	14	-
	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21.4	21.4	28.6	28.6	100	-
26 AÑOS	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2	4	4	14	-
	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14.3	14.3	28.6	28.6	100	-
27 AÑOS	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	5	6	6	22	-
	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22.7	22.7	27.3	27.3	100	-
28 AÑOS	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	4	6	6	20	-
	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	20	30	30	100	-
29 AÑOS	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2	5	5	14	-
	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14.3	14.3	35.7	35.7	100	-

En las tablas anteriores se observa como aumenta la edad de los individuos a medida que varían los estadios de fusión epifisaria en ambas variables de estudio (Tablas 70 y 71).

➤ ESTUDIO ESTADÍSTICO: ANÁLISIS DE LA VARIANZA

El análisis de la varianza (ANOVA) permite averiguar si existen diferencias, no debidas al azar, entre las medias de dos factores con respecto a una variable dependiente. En este caso nos permite saber, dentro de cada variable, qué grupos son significativamente diferentes con respecto a la edad.

Tabla 72. Resultados del análisis de la varianza ANOVA.

ANOVA. Inter-grupos						
Variable	Sexo	Suma de cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	Nivel de Significación
FC	M	64.60	149	4.61	23.82	0.001
	F	23.74	291	1.58	8.03	0.001
FH	M	58.47	149	3.81	19.64	0.001
	F	31.89	291	2.56	10.11	0.001

En el análisis de ANOVA se aprecian diferencias significativas ($p < 0.001$) en las dos variables en el estudio inter-grupos (Tabla 72). Esto significa que hay diferencias, no debidas al azar, entre algunos de los grupos que forman el factor de agrupación de cada una de las variables. A continuación se ha realizado un análisis de subconjuntos homogéneos de Duncan para poder discernir qué grupos son los presentan mayores diferencias con respecto a sus medias.

Tabla 73. Resultado del análisis de subconjuntos homogéneos DUNCAN. Variable Cierre Epifisario en la Extremidad Externa de la Clavícula.

CIERRE EPIFISARIO EN LA EXTREMIDAD EXTERNA DE LA CLAVÍCULA										
Factor de Clasificación	Subconjuntos homogéneos. DUNCAN									
	Hombres. Subconjuntos 95%					Mujeres. Subconjuntos 95%				
	N	1	2	3	4	N	1	2	3	4
FASE 0	38	14.28				32	14.93			
FASE 1	56		18.54			114		17.72		
FASE 2	34			19.70		90			18.84	
FASE 3	22				22.98	56				22.60
Nivel del significación		0.126	0.147	0.295	0.347		0.287	0.418	0.171	0.724

En la tabla anterior se observan los resultados de la prueba de subgrupos homogéneos de Duncan. Se aprecia que, tanto en hombres como en mujeres, existen diferencias significativas entre los cuatro grupos de clasificación que se han establecido (Tabla 73).

Tabla 74. Resultados del análisis de subconjuntos homogéneos DUNCAN. Variable Cierre Epifisario en la Extremidad Proximal del Húmero.

CIERRE EPIFISARIO EN LA REGIÓN PROXIMAL DEL HÚMERO														
Factor	Subconjuntos homogéneos. DUNCAN													
	Hombres. Subconjuntos 95%							Mujeres. Subconjuntos 95%						
	N	1	2	3	4	5	6	N	1	2	3	4	5	6
FASE 0	10	6.20						14	6.49					
FASE 1	14		9.11					36		9.29				
FASE 2	20			12.03				20			11.44			
FASE 3	24				14.68			28				14.96		
FASE 4	30					16.88		78					17.60	
FASE 5	34						22.87	116						23.36
Nivel Sig.		0.267	0.214	0.310	0.515	0.172	0.438		0.721	0.297	0.177	0.366	0.248	0.196

En este caso, se puede observar que existen diferencias significativas entre los seis grupos de clasificación, en ambos sexos (Tabla 74).

➤ RESULTADOS DEL ESTUDIO ESTADÍSTICO: RESUMEN DEL TEST DE ANOVA Y DEL TEST DE SUBCONJUNTOS HOMOGÉNEOS

A continuación se muestra el resumen de los resultados obtenidos gracias a las pruebas estadísticas que se han realizado. En cada tabla se muestran las variables de estudio, así

como los factores de agrupación de cada una de ellas, y los intervalos etarios a los que correspondería cada uno.

Los resultados se muestran separados por sexos (Tablas 75 y 76):

Tabla 75. Resumen de los resultados obtenidos. Sexo masculino.

CIERRE EPIFISARIO EN LA EXTREMIDAD ESTERNAL DE LA CLAVÍCULA			
Masculino		Femenino	
Factor	Intervalo etario	Factor	Intervalo etario
FASE 0	5 – 18 años	FASE 0	5 – 16 años
FASE 1	17 – 21 años	FASE 1	16 – 20 años
FASE 2	18 – 22 años	FASE 2	18 – 22 años
FASE 3	19 – 30 años	FASE 3	18 – 30 años

Tabla 76. Resumen de los resultados obtenidos. Sexo femenino.

CIERRE EPIFISARIO EN LA EXTREMIDAD PROXIMAL DEL HÚMERO			
Masculino		Femenino	
Factor	Intervalo etario	Factor	Intervalo etario
FASE 0	5 – 7 años	FASE 0	5 - 6 años
FASE 1	8 – 11 años	FASE 1	7 – 10 años
FASE 2	10 – 13 años	FASE 2	10 – 11 años
FASE 3	13 – 15 años	FASE 3	13 – 15 años
FASE 4	16 – 17 años	FASE 4	15 – 16 años
FASE 5	17 – 30 años	FASE 5	17 – 30 años

➤ ESTUDIO ESTADÍSTICO: TEST DE VALIDACIÓN

El test de validación sirve para conocer el porcentaje de acierto que presenta cada variable de estudio en función de la clasificación que hagan dentro de cada intervalo etario (Tabla 77).

Tabla 77. Resultados del test de validación.

Hombres			Mujeres		
Variable de estudio	N	% Inclusión dentro del intervalo etario	Variable de estudio	N	% Inclusión dentro del intervalo etario
FC	15	85%	FC	15	90%
FH	15	90%	FH	15	95%

13. DISCUSIÓN

13.1 DISCUSIÓN SOBRE LA ESTIMACIÓN DE LA EDAD DE LA MUERTE EN SUJETOS ADULTOS APLICANDO TÉCNICAS RADIOGRÁFICAS.

El estudio de restos esqueléticos pertenecientes a individuos adultos supone un gran reto, ya que los métodos que se utilizan para estimar la edad están, sobre todo, basados en patrones degenerativos. Hasta que se alcanza la madurez ósea los cambios morfológicos que se observan en los huesos y dientes son suficientemente grandes como para poder estimar la edad con fiabilidad, pero desde que se alcanza la madurez ósea la precisión disminuye y se hace necesario acudir a los métodos que se basan en cambios degenerativos. Esto genera un problema ya que no siempre hay una correspondencia entre la edad ósea y la edad cronológica de un individuo. A menudo la edad biológica se encuentra influenciada por factores externos como la alimentación, el clima o la actividad física que dificultan mucho la concordancia con la edad real de los individuos.

13.1.3 LA CLAVÍCULA

La clavícula es un hueso largo que, formando parte de la cintura escapular y del complejo articular del hombro, no interviene directamente en los movimientos que estas articulaciones implican. La selección de la clavícula como primer hueso de estudio está más relacionada con su función que con su anatomía. La clavícula, al no estar directamente implicada en los movimientos anteriormente citados, no está sometida a cargas biomecánicas que podrían influir en el proceso degenerativo normal que surge con el paso de la edad, como es el caso de otros huesos que soportan cargas o están sometidos a esfuerzos constantes.

La clavícula tiene una función principal de sostén y no presenta movimientos de gran magnitud por lo que no debería producirse mayor pérdida de materia ósea que la debida a los cambios producidos con el avance de la edad. No es este el caso de otros huesos, como por ejemplo el fémur o el húmero, donde sí existen cargas biomecánicas importantes debido a estar implicados en articulaciones con bastante movilidad. En estos casos se podría cuantificar la pérdida de materia ósea no provocada por el

envejecimiento normal, sino relacionada con el índice de masa corporal de los individuos o con la cantidad de esfuerzo físico que estos desempeñen.

Las variables que se han seleccionado en la clavícula, como indicadores de la edad en sujetos adultos, para observar su interacción entre ellas y su actuación de manera individual, han estado basadas en la pérdida de materia ósea con el paso del tiempo. Para ello, se han buscado cuatro indicadores de pérdida de materia ósea que se han dividido en dos apartados diferentes: el estudio del análisis de imagen y el estudio morfológico del sistema trabecular.

El estudio del análisis de imagen conlleva la medida de las variaciones en la densidad de gris de las extremidades esternal y acromial; así como las variaciones producidas en el grosor de la cortical de la clavícula, que han sido cuantificadas a través del cálculo de tres índices claviculares en el punto mediodiafisario. Por su parte, el estudio morfológico del sistema trabecular de la clavícula ha sido observado a través de las variaciones que se producen en el diámetro de las trabéculas tanto de las extremidades esternal y acromial, como de la cavidad medular; así como a través de la medida directa de la disminución de la cortical clavicular en las regiones anterior y posterior de la misma.

Dentro del estudio de la estimación de la edad a través del análisis de imagen, las primeras variables seleccionadas han sido las medidas en las variaciones de gris. Esta selección ha estado basada en el principio de que al realizar radiografías siempre utilizando el mismo generador de rayos X, así como el mismo voltaje y miliamperaje, se podría deducir que las pérdidas de masa ósea sería perceptibles a través de las variaciones del color que se aprecien en las radiografías. Por otro lado, la selección de las extremidades, esternal y acromial, ha estado fundada primeramente en la revisión de otros estudios que se han realizado en clavículas (Walker y Lovejoy, 1985), así como en la credibilidad de que el desgaste óseo se iba a apreciar mejor en los extremos que en el centro de la cavidad medular.

Continuando con el estudio de la edad a través del análisis de imagen, se han utilizado otras variables que, utilizando la relación entre el grosor total de la clavícula y el grosor de la cortical de la misma, en las regiones anterior y posterior, pretende relacionar la disminución de la cortical en función del aumento de la edad. Para ello se han calculado tres índices claviculares en el punto mediodiafisario. El cálculo de estos índices ha

estado basado en la revisión de otras investigaciones previas que demuestran que se han establecido índices, en diferentes puntos de la clavícula, como en la extremidad esternal, la extremidad acromial o en el punto mediodiafisario, y se han relacionado con la edad de los sujetos adultos. Sin embargo, mientras que en algunos trabajos se han obtenido resultados que afirman que las variaciones en estos índices son buenos indicadores para la estimación de la edad en sujetos adultos (Kaur y Jit, 1990), existen otras investigaciones que no aportan tan buenos resultados (Garamendi, 2007).

Es posible que los diferentes resultados obtenidos en los estudios anteriormente citados tengan su base en que el primero se realizó sobre clavículas de individuos que ya habían fallecido y exclusivamente en el punto mediodiafisario, y el segundo sobre individuos vivos en las extremidades esternal y acromial, así como en el medio de la diáfisis. Estas variaciones podrían ser debidas en primer lugar, a la dificultad que entraña medir con exactitud en placas radiográficas de individuos vivos en los que interfiere la superposición de estructuras anatómicas así como la posición del sujeto; y, en segundo lugar, en la elección de las regiones anatómicas donde se efectuaban las medidas ya que, en las extremidades esternal y acromial, los grosores de las corticales no pueden ser medidos de forma tan correcta como en el punto mediodiafisario.

Gracias a la revisión de estos estudios se ha interpretado que los tres índices que relacionan el grosor de la cortical con el grosor total de la clavícula en el punto mediodiafisario podrían ser los de mayor utilidad para la estimación de la edad en adultos y, por esta razón, se han seleccionado como variables en este trabajo.

En cuanto a la estimación de la edad a través del estudio morfológico del sistema trabecular se han seleccionado dos tipos de variables: las que relacionan el aumento del diámetro trabecular con la edad y las que se basan en las variaciones en la arquitectura ósea como indicador del avance del tiempo.

Las variables que están basadas en la relación entre el aumento del diámetro trabecular y la edad, han sido seleccionadas tanto en las extremidades esternal y acromial, como en la cavidad medular. El fundamento principal está basado en que la pérdida de materia ósea con el paso de la edad, obligatoriamente implicaría una disminución del número de trabéculas y un aumento del diámetro de las mismas, que quedaría reflejado en las variaciones del color que se aprecian en las radiografías. Esta consecuencia es observable en cualquier región anatómica de la clavícula, por ello se han seleccionado,

tanto las extremidades, como la cavidad medular, aunque las variaciones no ocurran de la misma manera en cada una de ellas.

Además, las pérdidas de materia ósea a través del aumento del diámetro trabecular ya había sido cuantificadas previamente por otros autores, que detallaban de manera descriptiva las variaciones en la densidad y diámetro de las trabéculas en las extremidades esternal y acromial, así como en la cavidad medular, refiriéndose a las trabéculas como de grano fino o de grano grueso (Walker y Lovejoy, 1985), o que estudiaron la fracción de volumen de hueso trabecular y la mínima anchura trabecular en la región esternal de la clavícula, obteniendo resultados que correlacionaban estos indicadores con el avance de la edad (Milenkovic *et alii*, 2013).

Por último, en el mismo contexto del estudio morfológico del sistema trabecular de la clavícula es preciso hacer referencia a las últimas variables que se han seleccionado como indicadores para la estimación de la edad en sujetos adultos. Estas variables son las que relacionan el descenso del grosor de la cortical, de las regiones anterior y posterior, en el punto medio de la diáfisis, a través de la observación directa y no de la toma de medidas y el cálculo posterior. Anteriormente se han citado las razones por las que se han excluido los extremos de la clavícula para la toma de este tipo de medidas, basándose en la dificultad de realizar medidas correctamente en regiones donde la cortical no se aprecia con claridad.

Estas variables, al contrario que los índices claviculares que se han explicado anteriormente, están basadas en la observación directa del grosor en la región anterior y posterior, en el punto mediodiafisario, calculando el grado de ocupación que presenta cada cortical con respecto al grosor total de la clavícula y expresándose en forma de fracción. Esta aplicación de la disminución del grosor cortical de la clavícula como indicador de la edad en adultos, también ha estado basada en estudios anteriores que a través de descripciones morfológicas relataban como disminuía la cortical claviclar a medida que aumentaba la edad (Walker y Lovejoy, 1985).

Todas las variables, tanto del estudio a través del análisis de imagen como las basadas en el estudio morfológico del sistema trabecular, han sido estudiadas sobre una población que sigue una distribución normal y que es equitativa en cuanto al género se refiere (172 varones, 160 mujeres). Esto es imprescindible para poder realizar estudios que impliquen una segmentación de la muestra en sexos. Además, la distribución etaria

en la población también es equitativa, ya que se encuentran representados, de manera muy similar, todos los grupos de edad, aunque la media de edad de las mujeres es 13 años más alta que la de los varones. Este hecho es importante a la hora de interpretar los resultados obtenidos en el estudio estadístico ya que la proporción de mujeres de edad avanzada es mayor que la de hombres.

ESTUDIO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA EDAD EN SUJETOS ADULTOS A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE IMAGEN

Para el estudio a través del análisis de imagen se han utilizado cinco variables, dos de ellas relacionadas con la densidad de gris, y tres basadas en el cálculo de índices claviculares que relacionan el grosor de la cortical con el grosor total de la clavícula.

MEDIDAS DE GRIS A TRAVÉS DEL ESTUDIO DE ANÁLISIS DE IMAGEN

La medida de gris en imágenes radiográficas se ha utilizado desde hace algún tiempo como indicador de las variaciones que sufren los huesos debidas a la pérdida de materia ósea con la edad. De esta forma, si todas las placas radiográficas se realizan en igualdad de condiciones, es decir, usando el mismo generador de rayos X, las mismas películas de impresión y, por supuesto utilizando la misma cantidad de kilovoltios, amperios y tiempo de exposición, se podría asumir que las diferencias que aparezcan entre los niveles de grises sería debidas exclusivamente a la pérdida de materia ósea en los huesos con el paso del tiempo.

Cuando se habla de la medida de gris, se hace referencia al color que va a aparecer en algunas estructuras determinadas de un hueso y que van a ir variando en función de la cantidad de masa ósea que presente el hueso en un determinado momento. Gracias a este principio, se puede medir la diferencia de color en una zona anatómica determinada, seleccionando un área concreta, y correlacionarla con la edad de un grupo de individuos.

Esto es exactamente lo que se ha realizado en este estudio, donde el área seleccionada ha sido la misma en todas las imágenes radiográficas, 0.25cm^2 . Además, las regiones anatómicas seleccionadas también han sido las mismas en todas las radiografías: en la extremidad esternal, justo al lado de la impresión del ligamento costoclavicular, hacia la zona de articulación de la clavícula y el manubrio del esternón; y en la extremidad acromial justo por encima de la línea trapezoidal por su parte anterior, de tal manera que coincida la esquina inferior derecha del cuadrado de área conocida en el punto medio de la línea trapezoidal. De esta forma se ha realizado una base de datos de medidas de grises que finalmente ha proporcionado información para la estimación de la edad, después de ser sometida a un análisis estadístico.

El primer paso del análisis estadístico ha sido obtener resultados a cerca del grado de fiabilidad a la hora de tomar las medidas por el investigador principal (Error Intraobservador), y sobre la reproducibilidad de la técnica empleada (Error Interobservador). Los resultados del Índice de Correlación Intraclass proporcionan valores para el Error Intraobservador que, en las dos variables, oscilan entre 0.4 y 0.6. Esto indica que el grado de fiabilidad a la hora de repetir la toma de medidas es aceptable. Por otro lado, los valores que se obtienen en el Error Interobservador son bastante más bajos ya que, en ninguno de los dos casos, superan el 0.35. Esto significa que el grado de repetitividad de la técnica es bastante bajo.

Es posible que esto pueda deberse a una difícil estandarización de la localización del cuadrado de área conocida que, al no encontrarse siempre en el mismo lugar, proporciona medidas diferentes. Los resultados son similares en las dos variables por lo que no es cuestión de la región anatómica elegida, sino de la dificultad para concretar el lugar exacto donde posicionar el cuadrado de área conocida.

Para averiguar la existencia de diferencias significativas, en la muestra de estudio, en función del lado y del sexo, se ha realizado una comparación de medias (T-student) en ambas variables. Gracias a la prueba T-student para muestras independientes que se ha llevado a cabo se ha podido determinar, que en ninguna de las variables existen diferencias significativas en función del sexo. Este resultado está en desacuerdo con la hipótesis esperada, ya que es conocido que los procesos degenerativos no afectan de la misma manera a hombres que a mujeres (Pietschmann *et alii.*, 2009). No obstante, la explicación más plausible está en relación con las variables en sí, ya que al estar

tratando con cantidades muy pequeñas es posible que el propio software sea incapaz de discernir entre valores de gris tan próximos.

La prueba T-student también se ha realizado para comprobar si existen diferencias en función de la lateralidad y se ha podido comprobar que no existen diferencias significativas entre clavículas derechas e izquierdas. Esta conclusión era de esperar, ya que a no ser que existiese alguna carga biomecánica o algún esfuerzo excesivo que decantara una gran pérdida de materia ósea en un lado respecto del otro, no deberían apreciarse diferencias a este nivel, mucho menos cuando se está trabajando con cantidades tan pequeñas. No obstante, en la literatura científica existen investigaciones que demuestran la teoría de la asimetría bilateral en las extremidades superiores e inferiores, y concretamente, en la clavícula (Abdel Fath *et alii.*, 2012), (Mays *et alii.*, 1999). Sin embargo, estos trabajos están basados en la longitud, curvatura, inserciones musculares y robustez de la clavícula como indicadores de asimetría bilateral, y al contrario que en este trabajo no valoran la pérdida de materia ósea a través del estudio del sistema trabecular. Esto, sumado al hecho de las cantidades tan pequeñas que se han valorado en este trabajo, puede ser la razón de las diferencias encontradas con los otros trabajos científicos.

A pesar de los resultados obtenidos en las pruebas de comparación de medias T-student, se ha decidido segmentar la muestra en función del sexo en base a las diferencias entre sexos encontradas en otras investigaciones (Walter y Lovejoy, 1985), (Milenkovic *et alii.*, 2013), ya que al tratar toda la muestra por igual se podría conllevar la aceptación de errores.

A partir de aquí se ha dividido la muestra en hombres y mujeres. Gracias a la prueba de Correlación de Pearson se ha observado qué grado de relación presentan las variables basadas en las medias de gris con la edad. En el caso de los hombres, en las dos variables, el valor de Correlación es muy bajo (SGA $r = -0.553$; $p = 0.001$), (AGA $r = -0.372$; $p = 0.001$). Para el caso de las mujeres, los resultados son similares (SGA $r = -0.573$; $p = 0.001$), (AGA $r = -0.349$; $p = 0.001$). En ambos casos, la correlación es mayor en la variable que implica la media de gris en la extremidad esternal que en la extremidad acromial.

Posteriormente, se ha realizado un análisis de regresión múltiple basado en la selección de variables por pasos sucesivos que elige de manera individual y en combinación, las variables que mayor información proporcionan al estudio de la edad.

En el caso individual de estas dos variables se puede observar, tanto en el caso de varones como de mujeres, que el valor de r^2 es mejor en la extremidad esternal que en la acromial ya que, mientras que en varones en la extremidad esternal los valores son de 0.55 en la extremidad acromial son de 0.37, y para mujeres en el primer caso son de 0.47 y en el segundo de 0.35.

Esto puede ser debido a que la toma de medidas de la parte esternal estaba mejor estandarizada que en la parte acromial. Además, en la extremidad acromial, se ha elegido medir por encima de la línea trapezoidal hacia la parte anterior, que es más susceptible de sufrir desgaste y fracturas post mortem, que nada tienen que ver con la pérdida de materia ósea relacionada con la edad.

Además, en el caso de combinación de variables, en ambos sexos, se puede observar que las funciones discriminantes que contienen la variable media de gris en la extremidad esternal tienen valores de r^2 mejores y por tanto proporcionan información más fiable que las que contienen la variable media de gris en la extremidad acromial.

A la luz de los resultados obtenidos, la información que aportan al estudio de la edad en sujetos adultos de cualquiera de estas dos variables que están basadas en las medidas de gris, es bastante poca, ya que en el mejor de los casos los valores que se obtienen de la regresión no exceden los 0.55 en el caso individual. En combinación con los índices claviculares sí pueden aportar bastante más, pero siempre actúan como acompañantes, ya que solas no pueden proporcionar información fiable.

Por último, se ha realizado un test de validación con el fin de comprobar la fiabilidad del método propuesto. Para cada una de las ecuaciones de regresión obtenidas en el estudio estadístico se ha calculado el Error de Predicción de la Media (ME), que se calcula como media de la diferencia entre la edad estimada y la edad real de un número muestral seleccionado al azar. En este caso se han seleccionado 15 clavículas de hombres y 15 de mujeres de diferentes grupos etarios para comprobar el método.

Para las variables que implican la media de gris individualmente, tanto en hombres como en mujeres, el ME proporciona resultados que oscilan entre los -7.20 y los 6.48

años de diferencia. En combinación con las otras variables de estudio se obtienen valores bastante similares. La traducción de estos resultados es que el método es bastante fiable ya que no comete errores de más de 10 años en ninguna de las ecuaciones de regresión calculadas.

No obstante, para concluir cabe destacar que, tanto la media de gris en la extremidad esternal como en la acromial, no son buenas indicadoras de la edad en adultos ya que por sí solas no aportan demasiada información. Por otro lado, la media en la extremidad esternal puede añadir algo de fiabilidad si se la combina con alguno de los índices claviculares.

OBTENCIÓN DE ÍNDICES CLAVICULARES A TRAVÉS DEL ESTUDIO DE ANÁLISIS DE IMAGEN

Uno de los métodos que se han utilizado en muchas investigaciones para la determinación de la edad, ha sido el estudio de los índices claviculares en distintos puntos de la clavícula. En algunos de estos estudios se han estimado los índices directamente en el hueso haciendo cortes tanto longitudinales como transversales (Kaur y Jit, 1990) obteniendo resultados que ofrecen una correlación negativa entre la variación de estos índices y la edad de los sujetos de estudio.

En otros estudio se han calculado los índices claviculares en muestras de radiografías de clavículas que habían sido extraídas directamente de autopsias, para posteriormente radiografiarlas y obtener así las medidas necesarias para calcular los índices en el punto mediodiafisario, resultando conclusiones que indican que existe una correlación negativa entre el valor de los índices y la edad de los individuos de estudio (Feducib, 2003).

Por último, existen otros estudios se han realizado estas medidas para el cálculo de los índices claviculares, en imágenes radiográficas de sujetos vivos, obteniéndose pobres resultados de correlación entre los índices y la edad de los individuos (Garamendi, 2007).

Por estas razones se ha pensado que era necesario hacer un estudio para valorar si estos índices claviculares son un buen indicativo de la edad. En el presente trabajo la muestra de referencia no ha sido en individuos vivos, ni tampoco directamente en el hueso, sino que se ha llevado a cabo sobre radiografías de clavículas de personas fallecidas. La hipótesis inicial fue que, si existía una correlación negativa entre los índices claviculares y la edad, sería indicador de que las diferencias que aparecen en los estudios que se han hecho sobre radiografías de individuos vivos no aportan buenos resultados por la dificultad que entraña medir en ellas debido a superposición de estructuras anatómicas y a la posición del sujeto de estudio.

Como se ha señalado anteriormente, en este trabajo se han realizado todas las radiografías utilizando el mismo generador de rayos X, el mismo tipo de película radiográfica, los mismos datos (kilovoltaje, amperaje, distancia foco-película), y en la misma posición anatómica, para que así, a la hora de realizar las medidas también se tendría una posición estandarizada. De esta manera, todos los posibles factores de confusión estarían controlados y las variaciones que se observen serán únicamente fruto del avance de la edad.

En primer lugar se han calculado los tres índices claviculares sobre las radiografías: índice anterior, índice posterior e índice total, y con los datos obtenidos se ha realizado una base de datos que ha sido sometida a un análisis estadístico con el fin de obtener información útil acerca de la estimación de la edad.

Para averiguar qué grado de fiabilidad existe en la toma de medidas por el investigador principal (Error Intraobservador) y que grado de reproducibilidad tiene la técnica empleada (Error Interobservador), se ha calculado el Índice de Correlación Intraclass. Los resultados, tanto para el Error Intraobservador como para el Error interobservador, proporcionan un grado de fiabilidad bastante alto, siendo todos superiores a 0.7. Lo que indica que el punto donde se toman las medidas está bien estandarizado ya que, tanto en la repetición por el investigador principal como en las repeticiones por otros observadores, los resultados muestran la correcta repetitividad de la toma de medidas y de la técnica empleada.

Posteriormente, al igual que con las variables que estaban basadas en las medias de gris, se ha realizado una comparación de medias (T-student) con el fin de comprobar si existen diferencias significativas en función de la lateralidad y del sexo. Para el caso de

la lateralidad no se han encontrado diferencias en ninguno de los tres índices claviculares. Esto, como se ha indicado anteriormente, no era lo esperado ya que existen algunas investigaciones que apoyan la teoría de la asimetría bilateral, aunque siempre basadas en otros parámetros de robustez y morfología de la clavícula (Abdel Fath *et alii.*, 2012), (Mays *et alii.*, 1999). Sin embargo, es posible que al ser valores tan pequeños los que se han sometido al estudio estadístico, no se hayan encontrado diferencias significativas.

En cuanto a la comparación de medias en función del sexo, se ha observado que sí hay una diferencia significativa en el índice anterior (AI), aunque no en los otros dos índices (PI) y (TI). Estos resultados sí están en consonancia con lo esperado puesto que se sabe que los cambios degenerativos que sufre el esqueleto no ocurren igual en mujeres que en hombres, en esta línea podemos destacar la osteoporosis que siendo una enfermedad que puede afectar tanto a hombres como a mujeres, afecta en mayor proporción a las mujeres una vez que alcanzan la menopausia, aproximadamente a partir de los 50 años (Parfitt *et alii.*, 1983), (Pietschmann *et alii.*, 2009).

Debido a los resultados obtenidos, y basándose en otras investigaciones anteriores (Fujita *et alii.*, 1968), (Aoyagi *et alii.*, 1988), (Kaur y Jit, 1990), se ha decidido segmentar la muestra en función del sexo.

En el estudio de la Correlación de Pearson, se han obtenido mejores resultados para las variables que se basan en los índices claviculares que para las que estaban basadas en las medias de gris. En todos los casos, en ambos sexos, se aprecian correlaciones negativas (la edad aumenta a medida que las variables disminuyen) superiores a 0.5, aunque parece que los valores son mayores en el caso de los varones que en la mujeres. Dentro del género masculino, el índice que mejor se correlaciona con la edad es el índice total ($r = -0.703$; $p = 0.001$), mientras que el índice que mejor actúa en el caso del género femenino es el índice anterior ($r = -0.682$; $p = 0.001$).

En el estudio de la regresión se ha observado que para el caso masculino las variables que son mejores indicadores de la edad y por tanto que ofrecen mayor información, han sido los índices claviculares en el punto mediodiafisario.

Para el caso masculino, el estudio de las variables de forma individual, en el análisis estadístico de regresión, ha demostrado que de ellos, el que más fiabilidad proporciona

ha sido el índice anterior con un valor de r^2 de 0.72. En segundo lugar el índice total con un valor de r^2 de 0.70 y en tercer lugar el índice posterior con un valor de r^2 de 0.68. En el estudio de la regresión cuanto más cerca de 1 se encuentren los resultados, más fiable es la información que proporcionan, por lo que los índices claviculares aportan grandes esperanzas para la estimación de la edad.

Además, si se habla de la combinación de estas variables con otras, se puede apreciar en los resultados que cuando se suman los valores de los índices con los valores de la media de gris en la extremidad esternal, se aumenta el porcentaje de fiabilidad, siendo las mejores variables en conjunto la suma de los valores del índice anterior y la media de gris en la extremidad esternal, obteniéndose un valor de r^2 de 0.78 , seguido de la combinación de las dos anteriores más el índice posterior que aumentaría el valor anterior hasta un r^2 de 0.79.

Para el caso femenino, en el estudio de la regresión también se puede observar que los índices claviculares son buenos indicadores de la edad. A nivel individual, el que mejor se comporta es el índice total que obtiene un valor de r^2 de 0.73, seguido del índice posterior con un valor de r^2 de 0.68 y del índice anterior con un valor de r^2 de 0.63.

En la combinación de los índices claviculares con las variables basadas en las medias de gris, la mejor combinación sería la que forman el índice total con la media de gris en la extremidad esternal que aumenta el valor de r^2 hasta un 0.75.

Gracias al estudio estadístico de la regresión se han podido calcular, separados por sexos, unos coeficientes que dan lugar a unas ecuaciones de regresión, que facilitarían mucho el trabajo de la estimación de la edad, ya que sólo se tendría que calcular el valor de cada variable implicada que, junto con los coeficientes que se han calculado, daría un valor de edad.

Por último, se ha realizado un test de validación para comprobar la fiabilidad del método propuesto. En él se han sometido todas las ecuaciones de regresión obtenidas a un análisis estadístico llamado Error Medio de Predicción (ME), que consiste en calcular la media de la diferencia entre la edad estimada y la edad real de un número de casos seleccionados al azar y no incluidos en la realización de este estudio.

Como se explicó en el caso de las variables basadas en las medias de gris, el SE ME ha calculado para todas las ecuaciones de regresión, tanto las que se forman a través de las

variables individualmente, como las que se forman de la combinación de las mismas. Los valores oscilan entre el -7.20 y el 6.48. Estos valores medios de diferencia son muy positivos ya que en ningún caso sobrepasan los 10 años.

Estos resultados son bastante esperanzadores, sobre todo si se compara con otros estudios que se han realizado para la estimación de la edad donde no se ha observado correlación entre las los índices claviculares y la edad (Garamendi, 2007).

Gracias a los resultados que la estadística ha proporcionado, se ha podido constatar que los índices claviculares actúan bastante bien como indicadores de la edad en sujetos adultos, siendo el índice anterior el mejor de ellos en hombres, y el índice total el mejor de ellos en mujeres.

Esto demuestra que la hipótesis que se planteaba en un principio sobre que los índices claviculares eran útiles en la estimación de la edad es correcta. Además puesto que en el índice total está a su vez incluido el índice anterior, se puede concluir que la variable que mejor actúa para determinar la edad en sujetos adultos, a nivel general, es el índice anterior.

Estos resultados están en consonancia con los estudios realizados directamente, para el cálculo de los índices claviculares, sobre cortes de clavículas (Kaur y Jit, 1990), con los estudios realizados radiografías de clavículas directamente extraídas de autopsias (Feducib, 2003), y con algunos de los estudios realizados sobre radiografías de sujetos vivos (Fujita *et alii.*, 1968), (Hëlela, 1969), (Anton, 1969), (Aoyagi *et alii.*, 1988).

Por otro lado, los resultados están en desacuerdo con los estudios que afirman que estos índices no aportan buenos resultados en placas radiográficas de individuos vivos (Garamendi, 2007). Como se ha explicado anteriormente, estas diferencias pueden haber ocurrido por la dificultad de medir en las placas radiográficas procedentes de sujetos vivos, ya que existen otras estructuras anatómicas que, al superponerse, dificultan la toma de medidas correctamente. Además, la posición del sujeto de estudio también es muy importante a la hora de realizar las placas radiográficas para evitar errores.

A la luz de estos resultados se puede asumir que, siempre y cuando se controlen los factores de variabilidad y se estandarice la toma de medidas, la estimación de la edad en adultos a través de radiografías de clavículas aporta resultados prometedores.

ESTIMACIÓN DE LA EDAD EN SUJETOS ADULTOS A TRAVÉS DEL ESTUDIO DE LAS VARIACIONES MORFOMÉTRICAS DEBIDAS AL AVANCE DE LA EDAD

Además del estudio a través del análisis de imagen también se han tenido en cuenta, para la estimación de la edad, los cambios morfológicos que se suceden en la clavícula con el paso del tiempo. Cabe citar que este estudio se ha realizado exclusivamente sobre los cambios morfológicos que se observan a través de imágenes radiográficas.

En primer lugar se ha realizado un estudio descriptivo y estadístico con el fin de averiguar si existen diferencias entre los diferentes grupos etarios, para posteriormente utilizar estas diferencias como base para desarrollar unos patrones degenerativos descriptivos para cada grupo de edad.

Las características morfológicas que se han tenido en cuenta a la hora de realizar este trabajo han sido dos, la primera basada en las variaciones observadas en el diámetro trabecular y, la segunda, observada a través de la disminución de la cortical en las regiones anterior y posterior.

Gracias a estas descripciones podemos clasificar a los individuos en grupos de edad según el aspecto morfológico que presente su clavícula en una imagen radiográfica.

APLICACIÓN DEL DIÁMETRO TRABECULAR AL ESTUDIO MORFOLÓGICO

La estructura trabecular de los huesos se ha utilizado en investigaciones anteriores (Acsádi y Nemeskéri, 1970) como indicador de la pérdida de materia ósea que sufren los huesos con la edad.

Una de las características mejor visibles a través de las placas radiográficas es la estructura y morfología de las trabéculas. De esta manera, se observa que existe un descenso en el número de trabéculas a medida que va aumentando el diámetro de cada una de ellas con el paso de la edad y, que además, la densidad y compactación de este sistema va disminuyendo con el tiempo quedando esto patente en la diferencia de color

que se aprecia entre radiografías que pertenecen a individuos jóvenes frente a las que pertenecen a sujetos muy mayores.

Para la observación del sistema trabecular no es imprescindible que todas las placas radiográficas se hayan realizado utilizando el mismo generador de rayos X, ni los mismos datos de disparo, ni la misma película radiográfica, ya que no se está valorando la diferencia de color sino la medida del diámetro trabecular, máximo y mínimo. No obstante, sí es aconsejable ya que de esta manera es posible hacerse una idea en conjunto de todos los indicadores de edad que puede ser de utilidad a la hora de realizar un diagnóstico.

Cuando se habla de diámetro trabecular, se hace referencia a las trabéculas que por su morfología se observen completas, es decir, que sea posible obtener una medida fiable de su máximo y mínimo diámetro. Algunas veces no es posible visualizar todas las trabéculas de manera completa, bien por la propia estructura del sistema trabecular o bien por la posición en que se hayan realizado las radiografías. Para solventar este problema, se ha seleccionado un área concreta (región esternal, región acromial o cavidad medular) en la que se han medido las trabéculas completas y se ha calculado un porcentaje de ellas que se encuentren dentro de un diámetro máximo concreto. Así ha sido posible agrupar las diferentes regiones anatómicas de las clavículas en función del factor de clasificación, diámetro trabecular.

De esta forma se ha realizado una base de datos que incluye las medidas de los diámetros trabeculares y su agrupación según el factor de clasificación, que ha sido sometida a un análisis descriptivo y estadístico con el fin de obtener información útil para la edad.

En el estudio descriptivo y métrico de las tres variables de estudio: diámetro trabecular en la extremidad esternal, diámetro trabecular en la extremidad acromial e involución trabecular en la cavidad medular, se puede observar la edad mínima y máxima, la media de edad, la desviación típica y el número de individuos que incluye cada uno de los grupos en que se divide el factor de clasificación (diámetro trabecular). En las tres variables de estudio, y en ambos sexos, se puede observar como la media de edad va aumentando a medida que también lo hacen los diámetros máximos de las trabéculas.

Una vez realizado el estudio descriptivo de las tres variables, se ha dado paso al análisis estadístico, que ha comenzado obteniendo resultados acerca del grado de fiabilidad a la hora de volver tomar las medidas por el primer observador (Error Intraobservador), y sobre la capacidad de reproducción de la técnica empleada (Error Interobservador). Los resultados del Coeficiente de *Kappa* proporcionan valores cercanos a 0.5, para el caso del Error Intraobservador, en las tres variables que implican el diámetro trabecular. Esto indica que el grado de fiabilidad a la hora de repetir la toma de medidas es aceptable. Por otro lado, los valores que se obtienen en el Error Interobservador son un poco más bajos ya que, son siempre inferiores a 0.45. Esto significa que el grado de repetitividad de la técnica es bajo.

Los resultados anteriores podrían ser explicados por dos razones: la primera es la dificultad que entraña realizar mediciones de diámetros trabeculares debido a que los valores oscilan entre 1 y 5mm, y al ser tan pequeños es fácil la confusión. La segunda razón radica en que, las regiones anatómicas elegidas no son planas, y por tanto el porcentaje de trabéculas que presenten un determinado diámetro puede variar dependiendo de que se encuentren en la zona superior o inferior de la región estudiada, lo que puede generar errores en la clasificación de grupos.

Con el fin de conocer si existen diferencias significativas, en la muestra de estudio, en función del género y la lateralidad, se ha realizado una comparación de medias (T-student) en las tres variables. Gracias a la prueba T-student para muestras independientes se ha podido determinar, que en ninguna de las variables existen diferencias significativas en función del sexo. Este resultado era de esperar ya que en las anteriores variables que se han estudiado no se han observado diferencias significativas con respecto al sexo en ninguna variable, excepto en el índice anterior (AI). Como se ha explicado antes, esto puede deberse a que los valores que se están utilizando son tan pequeños que es difícil discernir entre grupos, incluso para el propio software.

Por su parte, la prueba T-student para muestras relacionadas se ha realizado para comprobar si existen diferencias en función de la lateralidad. Los resultados indican que no existen diferencias significativas entre clavículas derechas e izquierdas en función de las variables que implican las variaciones en los diámetros trabeculares. Al igual que en el caso anterior, esta conclusión era de esperar, ya que no se han observado diferencias

significativas en ninguna variable usada para la clavícula, lo que fue explicado por el hecho del valor mínimo en que oscilan las variables.

No obstante, la literatura científica apoya la hipótesis de la diferencia en el proceso degenerativo con respecto al sexo (Pietschmann et alii., 2009) y de la asimetría bilateral en casos en que se estudia la robustez y morfología de la clavícula (Abdel Fath et alii., 2012), (Mays et alii., 1999). Por lo que se ha decidido segmentar la muestra en hombres y mujeres, y en clavículas derechas e izquierdas, con el fin de no cometer errores.

A continuación se ha realizado un estudio en el que se observa el porcentaje de aparición de cada variable en función del factor de clasificación (diámetro trabecular), en grupos etarios divididos de 10 en 10 años. Los resultados han sido segmentados en función del sexo y de la lateralidad. La finalidad de este estudio no fue otra que intentar comprobar como de distribuía la muestra en cada una de las tres variables de estudio.

Los resultados, son muy visuales, ya que se observa una diagonal casi perfecta que surge como consecuencia de que la edad de los individuos aumenta a medida que también lo hacen los diámetros de las trabéculas. Esto indica que existe una clara correlación entre el aumento de la edad y la degeneración del sistema trabecular medido, esta vez, por el aumento de diámetro de las trabéculas, tanto en las extremidades esternal y acromial, como en la cavidad medular.

Además, también se observa gracias a este estudio que no se aprecian diferencias en cuanto a la distribución de la muestra en función del lado. Clavículas derechas e izquierdas se distribuyen de manera similar en las tres variables de estudio. Sin embargo, sí se observan variaciones en cuanto al sexo se refiere, apreciándose un ligero proceso degenerativo más rápido en el sexo femenino frente al masculino. Este resultado, aunque no demostrado estadísticamente, ya que la prueba T-student para muestras independientes no proporcionan diferencias significativas, coincide con lo descrito en varias ocasiones en investigaciones anteriores que han estudiado las variaciones morfológicas en el sistema trabecular de las clavículas (Walter y Lovejoy, 1985), (Milenkovic *et alii.*, 2013), definiendo diferencias entre sexos y demostrando que, los procesos degenerativos, se produce de manera más rápida en mujeres que en hombres.

A partir de aquí se ha dividido la muestra en hombres y mujeres. Se ha realizado una prueba estadística de comparación de medias (ANOVA) con el fin de averiguar si existen diferencias inter-grupos, en cualquiera de las tres variables basadas en el aumento del diámetro trabecular. Los resultados indican que sí existen diferencias entre los grupos de clasificación de todas las variables ($p = 0.001$)

Tras los resultados obtenidos en la prueba de ANOVA, se ha realizado un estudio de subconjuntos homogéneos DUNCAN, que permite conocer entre qué grupos de clasificación se producen las diferencias.

Los resultados obtenidos para la variable, diámetro trabecular en la extremidad esternal, indican que hay diferencias entre cuatro de los grupos que ha creado el factor de clasificación. En hombres, se observan diferencias entre los tres primeros grupos, mientras que el estadístico agrupa los dos últimos. En mujeres, por el contrario, se agrupan los dos primeros grupos y se encuentran diferencias entre los tres últimos.

Algo parecido ocurre en la variable, diámetro trabecular en la extremidad acromial, donde los resultados indican que, en el caso de los hombres, hay diferencias claras entre todos los grupos del factor de clasificación, mientras que en el caso de las mujeres se observa una fusión de los dos primeros dejando claras diferencias entre los tres últimos.

En el caso de la variable que está basada en la involución de la cavidad medular, los resultados muestran que existen cuatro grupos diferenciados en el caso de los varones, y tres grupos en el caso de las mujeres, estando, en este caso, los dos primeros agrupados.

Estos resultados reafirman la teoría de que las mujeres sufren un proceso degenerativo más acusado y rápido que los hombres. En las tres variables del estudio se observan agrupaciones entre los dos primeros conjuntos que designa el factor de clasificación, es decir, que no se aprecian diferencias entre los diámetros trabeculares que oscilan entre 0 y 2mm. Además, la media de edad en las mujeres es siempre más alta que en los hombres. Esto ocurre porque el proceso degenerativo ocurre de manera más acusada en las mujeres. Estos resultados están en consonancia con los obtenidos en otras investigaciones basadas en las variaciones que ocurren en el sistema trabecular (Milenkovic *et alii.*, 2013) que afirman percibir diferencias entre hombres y mujeres en cuanto al proceso degenerativo se refiere, y que además, confirman que este proceso es más acusado en el sexo femenino. Un hecho que reafirma esta teoría, como se comentó

anteriormente, es que la aparición de osteoporosis es más evidente en mujeres que en hombres, sobre todo a partir de los 50 años (Parfitt et alii., 1983), (Pietschmann et alii., 2009).

Para concluir, se ha realizado un resumen en el que se definen los grupos etarios a los que corresponde cada supuesto del factor de clasificación, para cada una de las variables de estudio. Se ha observado, para el género masculino, que la variable, diámetro trabecular en la extremidad esternal, sólo es capaz de discernir intervalos etarios de 20 a 30 años, y mayores de 50 años. Por su parte, la variable, diámetro trabecular en la extremidad acromial, también clasifica en intervalos etarios de 20 a 40 años, y mayores de 70 años. Y por último, la variable, involución de la cavidad medular clasifica en grupos etarios de entre 20 y 40 años, y no es capaz de diferenciar entre individuos mayores de 50 años.

Por su parte, en el género femenino, sólo existen diferencias con respecto a la variable, diámetro trabecular en la extremidad esternal, donde se puede clasificar en intervalos de 20 a 40 años, y hasta los 70 años. El resto de variables proporcionan resultados muy similares.

Por último, se ha realizado un test de validación con el fin de comprobar la fiabilidad del método. Para ello se ha calculado el porcentaje de aparición de cada variable dentro del grupo de edad que se había calculado gracias al estudio estadístico (ANOVA y subconjuntos homogéneos DUNCAN) realizado sobre el factor de clasificación de cada variable. Los porcentajes de acierto de las tres variables que implican el estudio de las variaciones del diámetro trabecular oscilan entre 80 y 85 %, en ambos sexos.

Estos resultados no son muy esperanzadores, ya que los grupos etarios en que clasifican las variables de estudio son bastante grandes, llegando a alcanzar los 40 años. Esto no ayuda mucho al diagnóstico de la edad en sujetos adultos, por lo que la recomendación sería no utilizar estas variables como indicadores de edad por sí solos. Además, si a esto le sumamos el hecho de que la prueba estadística realizada para averiguar el grado de fiabilidad en la toma de medidas y reproducibilidad de la técnica empleada tampoco aportaba resultados muy satisfactorios, se podría llegar a la conclusión de que el estudio de las variaciones existentes en el diámetro trabecular a través de la toma de medidas directa, no debería ser usado para la estimación de la edad forense en un individuo adulto.

APLICACIÓN DEL GROSOR DE LA CORTICAL AL ESTUDIO MORFOLÓGICO

La reducción del grosor de la cortical de la clavícula ha sido objeto de estudio en muchas investigaciones (Fijita *et alii.*, 1968), (Hëlela, 1969), (Anton, 1969), (Walker y Lovejoy, 1985), (Aoyagi, 1988), (Kaur y Jit, 1990), (Feducib, 2003), (Garamendi, 2007), (Benito *et alii.*, 2014) ya que se ha comprobado, en numerosas ocasiones, que se trata de un indicador de utilidad a la hora de estimar la edad en sujetos adultos.

El grosor de la cortical de la clavícula es una de las características mejor visibles a través de las placas radiográficas ya que no depende de variaciones debidas a la utilización de diferentes generadores de rayos X, ni distintos datos de disparo, ni distinta película radiográfica. A diferencia de las otras variables de estudio, en este caso no es importante el tipo de radiografías que se realice. Las únicas situaciones que podrían variar el grosor de la cortical de la clavícula serían: la posición que tenga el individuo o la clavícula, dependiendo de si se trata de sujeto vivo o de cadáveres; o la superposición de estructuras anatómicas, en caso de aplicarlo a un individuo vivo.

Teniendo controladas estas dos situaciones, los grosores de las corticales de la clavícula funcionan como buenos indicadores para la estimación de la edad en sujetos adultos, ya que a simple vista se observa un claro descenso de ambas corticales a medida que aumenta la edad.

Ya se ha hablado anteriormente sobre los índices claviculares, que se calculaban como la relación existente entre el grosor de la cortical, en las regiones anterior y posterior, y el grosor total de la clavícula en el punto medio de la diáfisis. En este caso, el grosor de las corticales se deduce de manera visual y se utiliza como una variable discreta, no continua, que se calcula como una fracción del total del grosor clavicular, también en el punto mediodiafisario. Este proceso se aplica a la región anterior y posterior de la clavícula, por lo que el estudio estaría compuesto por estas dos variables.

Con estos datos se ha realizado una base de datos que incluye los grosores observados de las corticales, en las regiones anterior y posterior, según cinco categorías para cada factor de clasificación: $\frac{1}{4}$ del total, $\frac{1}{8}$ del total, $\frac{1}{12}$ del total, $\frac{1}{24}$ del total, y

desaparición total de la cortical. Los datos han sido sometidos a un análisis descriptivo y estadístico con el fin de obtener información útil para la edad.

En el estudio descriptivo se puede observar la edad mínima y máxima, la media de edad, la desviación típica y el número de individuos que incluye cada uno de los grupos en que se divide el factor de clasificación (grosor de la cortical). En las dos variables de estudio: grosor de la cortical en la región anterior y posterior, y en ambos sexos, se puede observar como la media de edad va aumentando a medida que disminuyen los grosores de las corticales en ambas regiones anatómicas.

Tras el estudio descriptivo se ha calculado el Coeficiente de *Kappa* que aporta información acerca del grado de fiabilidad a la hora de volver tomar las medidas por el investigador principal (Error Intraobservador), y sobre la reproducibilidad de la técnica empleada (Error Interobservador). Los resultados del Coeficiente de *Kappa* proporcionan valores superiores a 0.7, en las dos variables, tanto en el Error Intraobservador, como en el Error Interobservador. Esto indica que el grado de fiabilidad a la hora de repetir la toma de medidas y de reproducir la técnica empleada es bastante bueno.

Con el fin de conocer si existen diferencias significativas, en la muestra de estudio, en función del género y la lateralidad, se ha realizado una comparación de medias (T-student) en las dos variables. Gracias a la prueba T-student para muestras independientes se ha podido determinar, que en ninguna de las variables existen diferencias significativas en función del sexo. Este resultado era de esperar ya que en las anteriores variables que se han estudiado no se han observado diferencias significativas con respecto al sexo en ninguna variable, excepto en el índice anterior (AI). Como se ha explicado antes, esto puede deberse a que los valores que se están utilizando son tan pequeños que es difícil discernir entre grupos, incluso para el propio software.

Por su parte, la prueba T-student para muestras relacionadas se ha realizado para comprobar si existen diferencias en función de la lateralidad. Los resultados indican que no existen diferencias significativas entre lados. Al igual que en el caso anterior, esta conclusión era de esperar, ya que a no se han observado diferencias significativas en ninguna variable usada para la clavícula, lo que fue explicado por el hecho del valor mínimo en que oscilan las variables.

No obstante, como se ha explicado anteriormente, existen artículos que apoyan la hipótesis de las diferencias con respecto al sexo (Pietschmann et alii., 2009) y de la asimetría bilateral de la clavícula (Abdel Fath et alii., 2012), (Mays et alii., 1999).

Con el fin de solventar el problema de las diferencias en cuanto a la lateralidad y al sexo, se ha realizado un estudio en el que se observa el porcentaje de aparición de cada una de las variables, en función del grosor cortical, en grupos etarios divididos de 10 en 10 años. Los resultados han sido segmentados en hombres y mujeres, así como en clavículas derechas e izquierdas.

La distribución de la muestra genera unos resultados en los que se observa que la edad de los individuos aumenta a medida que disminuyen los grosores, tanto en la región anterior como en la posterior. Esto indica que existe una clara correlación entre el aumento de la edad y la disminución de la cortical de la clavícula.

Además, también se observa que no se aprecian diferencias en cuanto a la distribución de la muestra en función del lado, aunque sí se aprecian variaciones en función del sexo, observándose una disminución de la cortical más rápida en mujeres, y sólo en la región posterior. Este resultado, aunque no demostrado estadísticamente, coincide con lo descrito en la literatura científica (Fijita et alii., 1968), (Hëlela, 1969), (Anton, 1969), (Walker y Lovejoy, 1985), (Aoyagi, 1988), (Kaur y Jit, 1990), (Feducib, 2003), (Garamendi, 2007), (Benito et alii., 2014).

A partir de este momento, se ha dividido la muestra en función del sexo. Se ha realizado una prueba estadística de comparación de medias (ANOVA) con el fin de averiguar si existen diferencias entre grupos de clasificación, obteniéndose resultados afirmativos ($p = 0.001$). Posteriormente, se ha realizado un estudio de subconjuntos homogéneos DUNCAN, que permite conocer entre qué grupos de clasificación se producen las diferencias.

Los resultados obtenidos para las variables, grosor de la cortical en la región anterior y posterior, indican que hay diferencias entre los cinco grupos que ha creado el factor de clasificación (grosor de la cortical). En el caso de la variable, grosor de la cortical en la región anterior hay un grupo que no tiene representación, el que se define como 1/24 del grosor total de la clavícula, por lo que en este caso sólo existirían cuatro grupos de clasificación. Esto ocurre tanto en hombres, como en mujeres.

En el caso de la variable, grosor de la cortical en la región posterior, se observan representados todos los grupos según el factor de clasificación, y se aprecian diferencias significativas en todos ellos, en ambos sexos.

Para concluir, se ha realizado un resumen en el que se definen los grupos etarios a los que corresponde cada supuesto del factor de clasificación, para cada una de las variables de estudio. Se ha observado que, tanto para el género masculino como para el femenino, que ambas variables, son capaces de discernir intervalos etarios de 20 años, aunque no pueden clasificar a partir de los 70 años en el caso del grosor cortical en la región anterior y de los 80 años en el caso del grosor cortical en la región posterior. Este resultado es bastante bueno ya que ha seleccionado grupos etarios muy definidos que clasifican muy bien. Además, este estudio añade un factor importante dentro de los estudios para la estimación de la edad ya que incluye grupos de clasificación que llegan hasta los 70 años, o incluso hasta los 80 años, en el caso del grosor cortical en la región posterior. Este resultado es completamente novedoso porque ninguno de los estudios anteriormente citados ha sido capaz de obtener resultados que abarcasen hasta edades tan avanzadas. Esto puede ser debido a que la muestra de estudio que se ha utilizado para este trabajo representa bastante bien a la población española contemporánea, que actualmente tiene una esperanza de vida mucho mayor que hace algunos años cuando se realizaron las otras investigaciones.

Por último, se ha realizado un test de validación con el fin de comprobar la fiabilidad del método que se ha desarrollado. Para ello se ha calculado el porcentaje de aparición de cada variable dentro del grupo de edad que se había calculado gracias al estudio estadístico (ANOVA y subconjuntos homogéneos DUNCAN. Los porcentajes de acierto de las dos variables, en ambos sexos, oscilan entre 90 y 95%.

Estos resultados indican que, al igual que pasaba con los índices claviculares descritos en apartados anteriores, las variables que implican los grosores de la cortical son buenos indicadores para la estimación de la edad en sujetos adultos. En primer lugar, se puede utilizar cualquier equipo de rayos X. En segundo lugar, el grado de fiabilidad en el cálculo de los errores Intra e Interobservador ha sido muy satisfactorio, lo que indica que es una técnica fácil llevar a cabo y sencilla de repetir. Además, los intervalos etarios que se han proporcionado tan sólo son de 20 años y pueden alcanzar edades de hasta 80 años, en el caso del grosor en la región posterior de la clavícula. Y, finalmente, el

porcentaje de acierto e inclusión dentro de cada grupo de edad que ha generado el test de validación ronda el 90%.

Todas estas razones convierten a estas variables en buenas herramientas para la estimación forense de la edad en cadáveres de sujetos adultos, siempre y cuando se controlen los factores externos, como la posición de las clavículas a la hora de realizar las radiografías.

DESCRIPCIÓN DE LOS PATRONES DEGENERATIVOS DEBIDOS AL AVANCE DE LA EDAD

Además del estudio estadístico, a través de variables cualitativas y cuantitativas, se ha realizado un estudio descriptivo basado en las variaciones degenerativas que sufren las clavículas con la edad. De esta manera se ha asignado cada descripción con un grupo etario que, ha sido determinado, previamente, gracias al estudio estadístico de las variables de estudio. Cabe citar que este estudio se ha realizado exclusivamente en los cambios morfológicos que se pueden observar a través de imágenes radiográficas.

En primer lugar se han establecido los grupos de edad gracias a los resultados de los estudios estadísticos que se han realizado. El resultado ha sido de cinco grupos etarios tanto para el caso de los hombres, como para el de las mujeres.

Gracias a una exhaustiva observación de las imágenes radiográficas se han descrito los cambios que se han ido observando con el avance de la edad. De esta forma se puede apreciar que en cuanto a la estructura trabecular de las clavículas hay un descenso en el número de trabéculas a medida que va aumentando el diámetro de cada una de ellas y, que, además, la densidad y compactación de este sistema va disminuyendo con el tiempo, quedando esto patente en la diferencia de color que se aprecia entre clavículas que pertenecen a individuos jóvenes frente a las que pertenecen a sujetos muy mayores.

Por otro lado también existen cambios morfológicos a nivel del grosor de las corticales por la parte anterior y posterior ya que se observa un claro descenso del mismo a

medida que se aumenta en edad. La disminución de la cortical, es más evidente en el caso de las mujeres, donde se observa un proceso degenerativo más rápido, que, sobre todo, es observable a nivel de la región anterior de la clavícula.

Gracias a estas descripciones podemos clasificar a los individuos, dependiendo del género, en diferentes grupos de edad según el aspecto morfológico que presente su clavícula en una imagen radiográfica.

13.1.2 LA ESCÁPULA

La escápula es un hueso plano que forma parte de la cintura escapular, junto con la clavícula y el esternón, cuya función es articular las extremidades superiores y el tronco. Por su localización y función, interviene indirectamente en los movimientos que implican las cuatro articulaciones siguientes: articulación escápulo-humeral, articulación subdeltoidea, articulación escápulo-torácica y articulación acromio-clavicular.

La selección de la escápula, al igual que la se explicó con la clavícula, está más relacionada con su función que con su anatomía ya que, la escápula no está sometida a cargas biomecánicas excesivas que pudieran influir en el proceso degenerativo normal que surge con el paso de la edad.

La escápula tiene como función principal la de articular la extremidades superiores con el tronco, lo que no le supone una generación de grandes movimientos por lo que no deberían producirse pérdidas de materia ósea que no fueran debidas al avance de la edad. No obstante, la escápula, es el lugar de inserción de los grandes grupos musculares que intervienen en las articulaciones citadas anteriormente, lo que sí podría generar desgaste óseo no asociado con el avance de la edad. Por esta razón se han seleccionado las áreas de la escápula que, por su localización, presentan menos inserciones musculares, para minimizar el riesgo a acometer errores.

Por otro lado, algunas regiones anatómicas de la escápula son susceptibles de visualizarse erróneamente debido a la superposición de estructuras anatómicas que pueden producirse en una imagen radiográfica. Por esta razón se ha excluido algunas

regiones, como la apófisis coracoides o la espina de la escápula. Finalmente, las áreas seleccionadas han sido: el cuello de la escápula y el borde axilar de la misma.

Por su parte, las variables que se han seleccionado como indicadores de la edad en sujetos adultos, han estado basadas en los cambios degenerativos que sufre el sistema trabecular con el paso del tiempo. Se han seleccionado dos variables medibles que pudieran cuantificar los cambios producidos a nivel morfológico en el sistema trabecular.

Estas variaciones han sido observadas a través del aumento que se produce en el diámetro de las trabéculas y la disminución del número de las mismas en las dos regiones anatómicas de estudio; así como a través de los cambios observados a través de la arquitectura trabecular en las mismas regiones anatómicas.

Las variables que están basadas en la relación entre el aumento del diámetro trabecular y la edad, han sido seleccionadas en base a que la pérdida de materia ósea con el paso de la edad, obligatoriamente implicaría una disminución del número de trabéculas y un aumento del diámetro de las mismas, que quedaría reflejado en las variaciones del color que se aprecian en las radiografías.

Por otro lado, las variables que están basadas en los cambios que se producen en la arquitectura del sistema trabecular, también están relacionadas con la pérdida de estructura que se sufre con el paso del tiempo. Los procesos degenerativos implican una pérdida de densidad y compactación que se refleja de manera muy clara en la arquitectura del sistema trabecular.

El estudio de los cambios producidos en el sistema trabecular de la escápula y su relación con la edad, ya había sido estudiado previamente por otros autores, que analizaron áreas específicas de la escápula a través de radiografías de hombro y encontraron correlaciones con la edad de los sujetos de estudio (Bonsell *et alii.*, 2000), o que estudiaron las variaciones existentes en el sistema trabecular de las diferentes regiones de la cavidad glenoidea y las relacionaron con el aumento de la edad y la actividad física ejercida por los individuos (Lehtinen *et alii.*, 2004), o que analizaron la pérdida de materia ósea en relación a la edad basándose en los cambios de densidad de gris observados a través de radiografías de escápulas (Benito y Sánchez, 2013).

Todas las variables, han sido estudiadas sobre una población que sigue una distribución normal, y que es similar en número con respecto al sexo de los individuos que conforman la población (124 varones, 102 mujeres). Además, la distribución etaria en la población es equitativa, ya que se encuentran representados, de manera muy similar, todos los grupos de edad. También es importante citar, a la hora de interpretar los resultados obtenidos en el estudio estadístico, que la media de edad en mujeres es 9 años mayor que en varones.

ESTIMACIÓN DE LA EDAD EN SUJETOS ADULTOS A TRAVÉS DEL ESTUDIO DE LAS VARIACIONES DEL DIÁMETRO TRABECULAR

La morfología y estructura del sistema trabecular ha sido utilizada en numerosas ocasiones como indicador de la pérdida de materia ósea que sufren los huesos con la edad (Acsádi y Nemeskéri, 1970), (Walker y Lovejoy, 1985), (Benito y Sánchez, 2013).

El sistema trabecular puede ser observado muy claramente a través de las radiografías de los huesos, por lo que es posible observar los cambios que se producen en la estructura general del sistema, así como en el diámetro de cada una de las trabéculas. Con el paso del tiempo, se observa que existe un descenso en el número de trabéculas a expensas del aumento del diámetro de cada una de ellas. Además, a nivel general, se aprecia una variación en el color de las radiografías que dejan patente que, tanto la densidad como la compactación del sistema va disminuyendo a medida que aumenta la edad.

En cada región anatómica de estudio (cuello y borde axilar), se han obtenido la medida del diámetro trabecular de las trabéculas que se observen completas. Las incompletas o dudosas no se han cuantificado en ningún caso. Una vez medidas todas las trabéculas completas, se ha calculado un porcentaje de ellas que se encuentren dentro de un diámetro máximo concreto. Así ha sido posible agrupar las diferentes regiones anatómicas la escápula en función del diámetro trabecular.

De esta forma se ha realizado una base de datos, que ha sido sometida a un análisis descriptivo y estadístico con el fin de obtener información útil para la estimación de la edad.

En el estudio descriptivo de las dos variables de estudio: diámetro trabecular en el cuello de la escápula y diámetro trabecular en el borde axilar de la misma, se puede observar la edad mínima y máxima, la media de edad, la desviación típica y el número de individuos que incluye cada uno de los grupos etarios. En las dos variables de estudio, y en ambos sexos, se puede observar como la media de edad va aumentando a medida que también lo hacen los diámetros máximos de las trabéculas.

El primer paso del análisis estadístico, ha sido obtener resultados acerca del grado de fiabilidad a la hora de medir las variables por el investigador principal (Error Intraobservador), y sobre la reproducibilidad de la toma de medidas (Error Interobservador). Los resultados del Coeficiente de *Kappa* proporcionan valores inferiores a 0.45, para el caso del Error Intraobservador, lo que indica que el grado de fiabilidad a la hora de repetir la toma de medidas es bastante bajo ya que no se puede asegurar su correcta clasificación dentro de un grupo de edad. Por otro lado, los valores que se obtienen en el Error Interobservador son incluso más bajos, siempre inferiores a 0.35. Esto significa que el grado de repetitividad de la técnica es bajo. Las medidas y la clasificación de las escápulas en los grupos de edad no serían muy fiables si fueran tomadas por otro observador diferente.

Los resultados anteriores podrían ser explicados por la dificultad a la hora de realizar medidas de diámetros trabeculares en regiones tan pequeñas, que varían entre 1 y 5mm, así como por el volumen de las regiones anatómicas elegidas, que puede diferir el porcentaje de trabéculas que presenten un determinado diámetro dependiendo de que se encuentren en la zona superior o inferior de la región estudiada.

A continuación se ha realizado una prueba T-student para conocer si existen diferencias significativas con respecto al sexo y la lateralidad de las escápulas, en la muestra de estudio. Gracias a la prueba T-student para muestras independientes se ha podido determinar, que en ninguna de las variables existen diferencias significativas en función del sexo. Este resultado era de esperar ya que los valores que se están utilizando son tan pequeños que es difícil discernir entre grupos y por esta razón no se han observado diferencias en ninguna variable de estudio, a excepción del índice anterior (AI).

Por otro lado, la prueba T-student para muestras relacionadas se ha realizado para comprobar si existen diferencias significativas en función del lado. En este caso, tampoco se aprecian diferencias entre lado derecho e izquierdo. Al igual que en el caso

anterior, esta conclusión también era de esperar, y es explicada por los mínimos valores entre los que oscilan las variables.

No obstante, existen trabajos científicos que aseguran que existen diferencias en el proceso degenerativo con respecto al sexo (Pietschmann *et alii.*, 2009) y con respecto a la lateralidad (Kanchan *et alii.*, 2008). Por estas razones, se ha continuado el análisis con la muestra dividida en función del sexo y la lateralidad.

El siguiente estudio que se ha realizado ha sido el porcentaje de aparición de cada variable en función del diámetro trabecular, en grupos de edad divididos de 10 en 10 años. En los resultados, se observa una diagonal casi perfecta que surge como consecuencia de que la edad de los individuos aumenta a medida que también lo hacen los diámetros de las trabéculas. Esto indica que existe una relación directa entre el aumento de la edad y la degeneración del sistema trabecular que es observable a través del aumento de diámetro de las trabéculas, tanto en la región del cuello, como en el borde axilar de la escápula.

Otra conclusión que se observa gracias al estudio de los porcentajes de aparición es la ausencia de diferencias en función del lado y del sexo. Sin embargo, sí se observan grupos claros de individuos, de entre 20 y 30 años, que se agrupan gracias al factor de clasificación y que no se mezclan entre ellos.

Tras el estudio de los porcentajes de aparición, se ha realizado una prueba estadística de comparación de medias (ANOVA) con el fin de averiguar si existen diferencias intergrupos, en cualquiera de las dos variables basadas en el aumento del diámetro trabecular. Los resultados indican que sí existen diferencias entre los grupos de clasificación ($p = 0.001$).

Gracias a estos resultados se ha continuado el análisis estadístico realizando un estudio de subconjuntos homogéneos DUNCAN, que permite conocer entre qué grupos de clasificación se producen las diferencias.

Los resultados obtenidos en ambas variables, diámetro trabecular en el cuello y diámetro trabecular en el borde axilar, indican que hay diferencias entre tres de los grupos en que se ha dividido la muestra de estudio, tanto en hombres como en mujeres. De esta manera, quedan agrupadas las escápulas que presenten diámetros trabeculares inferiores a 2mm, por otro lado las que tengan diámetros comprendidos entre 2 y 3mm,

y finalmente, forman un tercer grupo las escápulas que presenten diámetros superiores a 3mm.

Finalmente, se ha realizado un resumen en el que se definen los grupos de edad que han sido creados gracias al estudio estadístico y a la agrupación generada por el factor de clasificación, para las dos variables de estudio. Se ha observado, para ambos sexos, que la variable diámetro trabecular en el cuello de la escápula, puede diferenciar entre tres intervalos etarios (de 20 a 50 años, de 50 a 70 años, y mayores de 70 años). Por su parte, la variable, diámetro trabecular en el borde axilar, clasifica también en tres intervalos etarios (de 20 a 40 años, de 40 a 70 años y mayores de 70 años)

Para terminar, se ha realizado un test de validación con el fin de comprobar la fiabilidad del método empleado. Para ello se ha calculado el porcentaje de aparición de cada variable dentro del grupo de edad que se había seleccionado gracias al estudio estadístico. Los porcentajes de acierto de las dos variables oscilan entre 85 y 90 %, en ambos sexos.

En conclusión cabe destacar que estos resultados no son muy satisfactorios, ya que los grupos etarios en que clasifican las variables de estudio son muy grandes y por tanto, no aportan mucha información a la estimación de la edad en sujetos adultos. Este resultado está en consonancia con el obtenido a través del estudio del diámetro trabecular en la clavícula, donde los resultados tampoco ofrecieron intervalos etarios muy estrechos. Además, el Coeficiente de *Kappa* tampoco ofrecía resultados muy esperanzadores ya que ni la fiabilidad, ni la reproducibilidad del método estaban aseguradas, se podría concluir que el estudio de las variaciones existentes en el diámetro trabecular a través de las toma de medidas directa, no es un buen indicador para la estimación de la edad en un individuo adulto con fines forenses.

ESTIMACIÓN DE LA EDAD EN SUJETOS ADULTOS A TRAVÉS DEL ESTUDIO DE LA ARQUITECTURA DEL SISTEMA TRABECULAR

El estudio del sistema trabecular de la escápula, así como las variaciones que se pueden producir en él, han sido estudiadas en algunas ocasiones con la finalidad de averiguar

qué tipo de relación tienen estos cambios con el avance en la edad de las personas (Bonsell *et alii.*, 2000), (Lehtinen *et alii.*, 2004), (Benito y Sánchez, 2013).

La arquitectura del sistema trabecular es la característica que mejor se observa gracias al estudio radiográfico de los huesos. Además, no es precisa la realización de las radiografías utilizando los mismos datos de disparo, ni el mismo generador de rayos X. El estudio se puede realizar con cualquier radiografía hecha de manera convencional o digital ya que la observación de la estructura trabecular no depende de este tipo de variaciones. La única situación que podría dificultar la visión del sistema trabecular sería la superposición de imágenes en caso de realizar radiografías a individuos vivos.

La arquitectura trabecular sufre variaciones con el avance de la edad, en la medida en que lo hacen todas las estructuras que componen el sistema, como el diámetro trabecular, la densidad de gris o la compactación de las trabéculas. Si a nivel individual se observan variaciones, es lógico pensar que se observarán cambios de manera general en la estructura y arquitectura del sistema trabecular que serán observables a simple vista.

Para la observación y cuantificación de los cambios observados, se han creado cuatro categorías de clasificación, dependiendo de la morfología que presente el sistema trabecular de las escápulas en las dos regiones que se han seleccionado: cuello y borde axilar. Las categorías se basan en la disposición de las cadenas de trabéculas a lo largo del cuello y el borde axilar de las escápulas. De esta manera, se han diferenciado cuatro grupos: disposición trabecular paralela perfecta, en la que se observan líneas de trabéculas de similar tamaño que se organizan paralelamente; disposición paralela imperfecta, donde se observan trabéculas con diferentes tamaños de diámetro dispuestas también en líneas paralelas; disposición dispersa incipiente, en la que se va perdiendo la estructura paralela y se da lugar a una agrupación más anárquica en la que se mezclan trabéculas de diferentes tamaños; y por último, una disposición dispersa con ausencias trabeculares, donde se observan huecos vacíos dentro de una estructura totalmente dispersa.

Gracias a estas categorías de clasificación se han agrupado las escápulas y con estos datos se ha realizado un análisis descriptivo y estadístico con el fin de obtener información útil para la estimación de la edad.

En el estudio descriptivo se ha podido observar la edad mínima y máxima, la media de edad, la desviación típica y el número de individuos que incluye cada uno de los grupos en que se divide el factor de clasificación (arquitectura del sistema trabecular). En las dos variables de estudio: arquitectura del sistema trabecular en el cuello y en el borde axilar, y en ambos sexos, se puede observar como la media de edad va aumentando a medida que la estructura se transforma de paralela a dispersa.

Tras el estudio descriptivo se ha calculado el Coeficiente de *Kappa* que aporta información acerca del grado de fiabilidad en la clasificación de las escápulas (Error Intraobservador), y sobre la reproducibilidad de la técnica empleada (Error Interobservador). Los resultados del Coeficiente de *Kappa* proporcionan valores superiores a 0.65, en las dos variables, tanto en el Error Intraobservador, como en el Error Interobservador. Esto indica que se puede confiar en que la clasificación sea fiable así como en la reproducibilidad de la técnica empleada. Por tanto, si los resultados de los siguientes análisis estadísticos otorgasen porcentajes de acierto aceptables, se podría confiar en que la técnica es aplicable a otras muestras diferentes y por otros investigadores distintos.

Con el fin de conocer si existen diferencias significativas, en la muestra de estudio, en función del sexo y del lado, se ha realizado una prueba T-student, en las dos variables de estudio. La prueba T-student para muestras independientes ha mostrado, que en ninguna de las variables existen diferencias significativas en función del sexo. Por su parte, la prueba T-student para muestras relacionadas ha generado unos resultados que indican que no existen diferencias significativas entre lados.

Los mismos resultados han sido obtenidos en las comparaciones de medias realizadas sobre las otras variables de estudio, a excepción del índice anterior de la clavícula (AI). En las variables que se han cuantificado a través de la toma de medidas, la ausencia de diferencias significativas se ha explicado por el mínima valor que presentan los intervalos de medida. Sin embargo, en este caso, el hecho de no encontrar diferencias significativas entre sexos, ni entre lados, se explica por el hecho de que, aunque existan diferencias en cuanto al proceso degenerativo entre hombres y mujeres, tal y como se demuestra en la literatura científica (Pietschmann *et alii.*, 2009), no son cuantificables dentro de las cuatro categorías que se han planteado para este estudio. Si se hubieran

incluido más categorías dentro del factor de agrupación tal vez hubiera sido más fácil encontrar diferencias significativas.

Con el fin de observar más claramente las diferencias en cuanto a la lateralidad y al sexo, se ha realizado un estudio en el que se calcula el porcentaje de aparición de cada una de las variables, en función del tipo de arquitectura que presenten, en grupos etarios divididos de 10 en 10 años. Los resultados han sido segmentados en hombres y mujeres, así como en escápulas derechas e izquierdas.

La distribución de la muestra genera unos resultados en los que se observa que la edad de los individuos aumenta a medida que el sistema trabecular se transforma desde una disposición paralela a una disposición dispersa, tanto en la región del cuello como en el borde axilar de la escápula. Además, se observa claramente como aparece una diagonal que relaciona el aumento de la edad con la disposición arquitectónica del sistema trabecular.

Por otro lado, no se aprecian diferencias en cuanto a la distribución de la muestra en función del lado, aunque sí se aprecian mínimas variaciones en función del sexo, observándose una rápida transformación de la arquitectura trabecular en el caso femenino con respecto al caso masculino, sobre todo en las etapas tempranas, cuando la disposición pasa de paralela perfecta a paralela imperfecta. Este resultado, coincide con lo demostrado en otros trabajos científicos que encuentran diferencias significativas entre las características morfológicas de escápulas de ambos sexos (Dabbs y Moore-Jansen, 2012), mientras que se encuentra en discordancia con otros estudios que aseguran no haber encontrado diferencias entre sexos a la hora de realizar estudios morfológico basados en cambios degenerativos en la escápula (Bonsell *et alii.*, 2000).

Las diferencias, entre los trabajos citados anteriormente (incluido el presente), pueden ser debidas a que el presente y el primero que fue citado (Dabbs y Moore-Jansen, 2012) realizan su estudio sobre escápulas pertenecientes a cadáveres esqueletizados, y el segundo (Bonsell *et alii.*, 2000) realiza su investigación sobre radiografías de sujetos vivos. Es posible que la superposición de estructura anatómicas en el segundo caso haya impedido la correcta observación de los cambios degenerativos y por ello no se han encontrado diferencias en cuanto al sexo.

A partir de este momento, y a la luz de los resultados obtenidos en las pruebas anteriores se ha decidido segmentar la muestra en función del sexo. Se ha realizado una prueba estadística de comparación de medias (ANOVA) con el fin de averiguar si existen diferencias entre grupos de clasificación, obteniéndose resultados afirmativos ($p = 0.001$). Posteriormente, se ha realizado un estudio de subconjuntos homogéneos DUNCAN, que permite conocer entre qué grupos de clasificación se producen las diferencias.

Los resultados obtenidos para las dos variables que implican las variaciones en la arquitectura del sistema trabecular, muestran que hay diferencias entre los cuatro grupos que ha creado el factor de clasificación. Se han creado cuatro grupos de clasificación, para ambos sexos, en función de que la arquitectura sea: paralela perfecta, paralela imperfecta, dispersa incipiente, o dispersa con ausencias.

Por último, se ha realizado un resumen en el que se definen los grupos etarios a los que corresponde cada categoría del factor de clasificación, para cada una de las variables de estudio. Se han establecido cuatro grupos para ambos sexos (de 20 a 30 años, de 30 a 50 años, de 50 a 70 años y mayores de 70 años).

Este resultado es bastante bueno ya que ha seleccionado grupos etarios con intervalos relativamente estrechos que clasifican correctamente. Además, el último grupo de clasificación incluye individuos que llegan hasta los 70 años. Este resultado nunca se había descrito en la literatura científica ya que no se había estudiado muestras de cadáveres esqueletizados que estuviesen disponibles para el desarrollo de este tipo de investigaciones. En este caso la muestra de estudio que se ha utilizado representa bastante bien a la población española actual que, en los últimos años, ha aumentado mucho la esperanza de vida.

Para concluir, se ha realizado un test de validación con el fin de comprobar la fiabilidad del método que se ha desarrollado. Para ello se ha calculado el porcentaje de aparición de cada variable dentro de los grupos de edad que se habían calculado. Los porcentajes de acierto de las dos variables, en ambos sexos, son del 80%. Este resultado es muy satisfactorio.

Estos resultados indican que, el estudio de la estructura trabecular en las regiones seleccionadas de la escápula se comporta como muy buen indicador para la estimación

de la edad en sujetos adultos. En primer lugar, se puede utilizar cualquier tipo de radiografía. En segundo lugar, el grado de fiabilidad en el cálculo de los errores Intra e Interobservador ha sido muy satisfactorio, lo que indica que es una técnica repetible y su grado de acierto a la hora de clasificar las escápulas es bueno. Además, los intervalos etarios que ha proporcionado el estudio de subconjuntos homogéneo, son como máximo de 20 años, y como novedad, pueden alcanzar edades de hasta 70 años, en las dos regiones estudiadas: cuello y borde axilar de la escápula. Y, finalmente, el test de validación proporciona unos porcentajes de acierto del 80%.

Por tanto, estas dos variables de estudio, por sí solas, podrían ser buenas herramientas para el estudio de la edad forense en cadáveres esqueletizados pertenecientes a individuos adultos.

DESCRIPCIÓN DE LOS PATRONES DEGENERATIVOS DEBIDOS AL AVANCE DE LA EDAD

Además del estudio estadístico, se ha realizado un estudio descriptivo basado en los cambios morfológicos que sufren las escápulas con la edad. De esta manera se ha asignado cada descripción con uno de los grupos etarios que se han obtenido del estudio estadístico. Los grupos de edad que se han obtenido han sido cuatro para cada sexo, que corresponden con cada una de las categorías de los factores de clasificación (diámetro trabecular y arquitectura trabecular).

Gracias a la observación de las imágenes radiográficas se han descrito los cambios que se han ido produciendo con el avance de la edad. De esta forma se puede apreciar que hay un descenso en el número de trabéculas a medida que va aumentando el diámetro de cada una de ellas tanto en el cuello como en el borde axilar de la escápula y, que, la arquitectura del sistema trabecular también sufre una transformación de su disposición cambiando desde una estructura paralela a una dispersa a medida que avanza la edad de los individuos de estudio.

Gracias a estas descripciones podemos clasificar a los individuos, dependiendo del género, en diferentes grupos de edad según el aspecto morfológico que presente su escápula en una imagen radiográfica.

13.1.3 EL ESTERNÓN

El esternón es un hueso plano y simétrico, que proporciona el cierre de la caja torácica por su parte anterior ya que sirve de lugar de articulación para las costillas. El esternón interviene directamente en los procesos de respiración, lo que no le supone una carga biomecánica excesiva; tan sólo la debida a los procesos de inspiración y expiración. Además está formado por tres partes: el manubrio, el cuerpo del esternón y el apéndice xifoides, que se van fusionando con el tiempo.

Se ha seleccionado el esternón como hueso para la realización de este estudio para la estimación de la edad en sujetos adultos debido a que el tiempo de fusión de las tres partes que lo componen, han sido relacionadas con la edad en numerosas ocasiones, con resultados muy variables (Dwight, 1881), (Trotter, 1934), (Jit y Bakshi, 1986), (Singh *et alii.*, 1994), (Gautam *et alii.*, 2003), (Wadhawan, 2009), (Garg *et alii.*, 2011), (Chandrakanth *et alii.*, 2012), (Kaneriyia *et alii.*, 2013), (Singh *et alii.*, 2013).

Para la estimación de la edad se han seleccionado dos variables de estudio: la fusión de la articulación manubrioesternal y la fusión de la articulación xifoesternal, ambas basadas en que las regiones cartilaginosas sufren sincondrosis y osificación con el avance de la edad que se considera como un proceso degenerativo considerado normal y relacionado con el aumento de la edad.

ESTUDIO DE LA FUSIÓN DE LAS ARTICULACIONES MANUBRIOESTERNAL Y XIFOESTERNAL EN RELACIÓN CON LA EDAD

La fusión de las articulaciones manubrioesternal y xifoesternal ha sido utilizada desde hace tiempo como indicador del avance de la edad, debido a que la osificación de

regiones cartilaginosas forma parte del proceso degenerativo habitual que ocurre en el esqueleto humano.

Existen múltiples trabajos que relacionan los tiempos de fusión con la edad de los individuos. La mayoría de ellos, demuestran que la fusión de ambas articulaciones es un proceso muy variable que no tiene relación con la edad y que por tanto, no debería ser usado como método para estimación de la misma en casos de interés forense (Dwight, 1881), (Trotter, 1934), (Jit y Bakshi, 1986), (Singh *et alii.*, 1994), (Gautam *et alii.*, 2003), (Wadhawan, 2009), (Garg *et alii.*, 2011), (Chandrakanth *et alii.*, 2012), (Singh *et alii.*, 2013). Sin embargo, existen estudios más recientes que aportan un poco más de información a este tipo de estudios y que aseguran haber encontrado alguna relación entre el tiempo de fusión de ambas articulaciones, siendo más precoz la xifoesternal que la manubrioesternal (Kaneriya *et alii.*, 2013).

Con el fin de averiguar qué tipo de comportamiento presentan estas dos regiones anatómicas con respecto a la edad, se ha realizado un estudio descriptivo y un análisis estadístico utilizando los datos obtenidos en la clasificación de los esternones en función de un factor de clasificación común, la fusión de las articulaciones manubrioesternal y xifoesternal.

Para la clasificación se han determinado tres categorías distintas: la ausencia de fusión, cuando ambas partes se encuentran separadas totalmente; la fusión parcial, donde se aprecia una línea de fusión entre las partes que van a fusionarse, pero aún no se observa la fusión completa; y la fusión total o completa cuando ya no se observa esa línea de fusión y todas las dos partes se encuentran unidas.

En el estudio descriptivo se observa que la media de edad es muy similar en los tres grupos que genera el factor de clasificación, en ambos sexos, y en las dos variables de estudio (articulación manubrioesternal y xifoesternal). Esto indica que no existe mucha relación entre el estado de fusión en que se encuentren las articulaciones y la edad de los individuos de estudio.

Por su parte, en el estudio estadístico, en primer lugar, se ha realizado un estudio acerca del grado de fiabilidad a la hora de tomar las medidas por el investigador principal (Error Intraobservador), y sobre posibilidad de reproducción de la técnica empleada (Error Interobservador). Los resultados del Coeficiente de *Kappa* proporcionan valores

superiores a 0.8 tanto para el Error Intraobservador como para el Error Interobservador. Estos resultados indican que el nivel de confianza tanto en la repetición de la clasificación de los esternones en los tres diferentes grupos, como la repetitividad de la técnica, son muy buenas.

Por otro lado se ha realizado una comparación de medias (T-student para muestras independientes) en ambas variables, con el fin de averiguar si existen diferencias significativas debidas al sexo. Los resultados indican que en ninguna de las variables existen diferencias significativas, lo que está en desacuerdo con la hipótesis esperada que sugeriría que, habría diferencias en el proceso degenerativo en función del sexo, ya que está demostrado que dichos procesos no afectan de la misma manera a hombres y mujeres (Pietschmann *et alii.*, 2009). Estos resultados podrían explicarse desde el punto de vista de que si la fusión de ambas articulaciones no sigue el patrón de un proceso degenerativo normal que tiene relación con la edad, tampoco tendría porque tenerlo con el sexo.

A pesar de los resultados obtenidos en las pruebas de comparación de medias T-student, se ha decidido segmentar la muestra en función del sexo, pues al tratar toda la muestra por igual se podría caer en la aceptación de errores.

El siguiente paso que se ha dado dentro del estudio estadístico de las variables de estudio, ha sido el cálculo de los porcentajes de aparición de la muestra en cada una de las categorías que establece el factor de clasificación. Para ello se ha dividido la muestra en intervalos etarios de 10 años y se ha calculado el porcentaje de individuos que corresponden a cada grupo. Los resultados indican una anarquía plena en la que no existe ninguna relación entre las variables de estudio y el aumento de la edad de los sujetos, que se observa a simple vista. La única conclusión clara que puede deducirse es que en el intervalo etario de entre 20 a 30 años, no se aprecian signos de fusión completa en ninguna de las articulaciones (manubrioesternal y xifoesternal). Tampoco se observan, en este caso, diferencias debidas al sexo. Estos resultados confirman que no existe relación entre la fusión de las tres partes del esternón y la edad de los sujetos de estudio.

Para confirmar lo que ya se había observado anteriormente, se ha realizado una prueba de comparación de medias para averiguar si existen diferencias inter-grupos con

respecto al factor de clasificación. Los resultados ($p > 0.001$) muestran que no existen diferencias entre ninguna de las categorías propuestas, en ninguno de los casos.

Finalmente, el estudio de subconjuntos homogéneos DUNCAN, indica que no existen grupos separados entre las variables de estudio que pueden actuar como indicadores de edad.

Por estas razones, se deduce que la fusión, tanto en la articulación manubrioesternal como en la articulación xifoesternal, siguen un proceso muy variable que nada tiene que ver con los patrones degenerativos que se encuentran asociados con el estudio de la edad, y que, por tanto, no deben ser usados como indicadores para estimación de la edad en sujetos adultos en casos de interés forense.

13.2 DISCUSIÓN SOBRE LA ESTIMACIÓN DE LA MAYORÍA DE EDAD LEGAL EN SUJETOS VIVOS APLICANDO TÉCNICAS ECOGRÁFICAS.

La estimación de la edad en sujetos subadultos no supone un problema de gran magnitud cuando es necesaria la identificación de un individuo, debido a que los métodos basados en el crecimiento y maduración de huesos y dientes siguen un patrón homogéneo, lo que permite relacionar con bastante precisión la edad biológica y la real del sujeto de estudio.

Durante las primeras etapas del crecimiento, hasta los 12 años aproximadamente, el estudio de la calcificación y erupción dental son métodos muy precisos. A partir de esta edad, es más fiable el uso de la maduración de los huesos largos, y por eso, casi todos los estudios están orientados al cierre de los cartílagos metafisarios como patrón de crecimiento. A medida que aumenta la edad de los individuos también aumenta el grado de dificultad para la estimación de la misma. Es por esta razón que los métodos destinados a la estimación de la mayoría de edad legal no proporcionan resultados suficientemente precisos.

LA CLAVÍCULA Y EL HÚMERO

Existen estudios que relacionan la edad de los individuos con la fusión de las epífisis en todos los huesos del cuerpo. Por este motivo, a día de hoy, se tiene conocimiento del tiempo de fusión de huesos tan importantes para el estudio de la edad como: la clavícula o el húmero.

La epífisis esternal de la clavícula es la última epífisis del cuerpo que culmina su proceso de cierre y por tanto la que determina el final madurativo del sistema esquelético. Gracias a esta característica ha sido objeto de estudio en múltiples ocasiones con el fin de ser utilizada como indicador para la estimación de la mayoría de edad legal en muy diversas poblaciones.

La mayoría de los autores que han realizado estudios sobre los diferentes estadios de cierre epifisario en la extremidad esternal de la clavícula coinciden en que la fusión completa se produce en torno a los 21 años en mujeres y alrededor de los 22 en varones (Glastaun, 1937); (Jit *et alii.*, 1994); (Kretiner *et alii.*, 1998); (Schemeling *et alii.*, 2004); (Schulz *et alii.*, 2005), (Schulz *et alii.*, 2008); (Garamendi *et alii.*, 2011), aunque también existen otras investigaciones que sostienen que la fusión completa se produce mucho más tarde en ambos sexos, pudiendo alcanzar los 29 o 30 años (Szilvassy, 1977); (Mac Laughlin, 1990); (Schaefer y Black, 2005).

Estos resultados han hecho que se considere la extremidad esternal de la clavícula como un buen indicador para determinar si un individuo tiene más de 21 años y, por ello, su estudio ha sido incluido dentro de las recomendaciones de la AGFAD en los casos en que es necesaria la estimación de los 21 años de edad (Study Group of Forensic Age Estimation of the German Association of Forensic Medicine. 2001). Para su estudio se propone realizar radiografías anteroposteriores y laterales del tórax, y en caso de no poder discernir con certeza, se recomienda el uso de la tomografías axial computerizada.

Además, la clavícula es una región anatómica que, por su localización, es de fácil acceso y observación en sujetos vivos. Esto ha facilitado mucho su uso en este tipo de investigaciones y la ha convertido en una de las regiones mejor estudiadas.

El húmero, por su parte, es un hueso largo que se encuentra localizado en la región anatómica del brazo y que forma parte del complejo articular del hombro, articulándose con la escápula en la cavidad glenoidea de la misma.

La fusión metafisaria de la región proximal del húmero, así como la longitud de la diáfisis del mismo han sido estudiadas, sobre todo, para estudios de estimación de edad en sujetos infantiles, obteniéndose resultados similares en todos los estudios: la fusión completa de la epífisis proximal del húmero se encuentra entre los 16 y los 18 años en mujeres, y entre los 16 y los 20 años en varones (Pryor, 1908); (Sidhom y Derry, 1931); (Flecker, 1933); (Scheuer y Black, 2000); (Cardoso, 2008).

Sin embargo, no existe ningún estudio en que se haya utilizado esta variable como indicador para la estimación de la mayoría de edad legal aunque, por su tiempo de fusión, se encuentra justo en el rango de los 18 años de edad. Para la estimación de la mayoría de edad legal, la AGFAD en sus recomendaciones han preferido incluir la erupción y maduración del tercer molar como indicador más fiable, aunque existen muchas investigaciones que demuestran que, por su variabilidad, no es un método muy preciso de estimación de edad en casos de interés forense (Demirjian *et alii.*, 1973); (Mincer *et alii.*, 1993); (Kulman, 1995); (Willems *et alii.*, 2001); (Prieto *et alii.*, 2005).

La explicación más plausible por la que se está utilizando la erupción y maduración de los terceros molares en vez de la fusión de otras epífisis de huesos largos, como el caso de la epífisis proximal del húmero, es que no existen suficientes estudios que demuestren la eficacia de los intervalos etarios propuestos para la fusión completa de estas regiones. Por el contrario, la maduración y erupción de los molares están suficientemente estudiadas como para conocer los intervalos etarios e incluso los grados de acierto y error que se producen al aplicarlos.

Además, al igual que ocurre con la extremidad esternal de la clavícula, la epífisis proximal del húmero es una región anatómica de muy fácil acceso y localización, por lo que la estandarización a la hora de aplicar los métodos sería sencilla.

Estos márgenes de edad, así como la facilidad de acceso de ambas regiones, son los que han servido de iniciativa para el desarrollo de esta línea de investigación, ya que estudiando estas dos regiones anatómicas y comparándolas en un mismo protocolo se

podría llegar con mayor fiabilidad al diagnóstico de los 18 años (mayoría de edad legal en España).

Por otro lado, las técnicas que actualmente se incluyen dentro de los protocolos están basadas en el uso de los rayos X, que son perjudiciales, tanto para el paciente que se expone como para el técnico que lleva a cabo la práctica. Por esta razón, se han creado, en los últimos tiempos, nuevas líneas de investigación que utilizan técnicas no invasivas, como el ultrasonido.

La ecografía es una técnica muy barata, inocua, limpia y rápida en comparación con otras técnicas que utilizan los rayos X (radiografía convencional o digital, TAC, etc), que implican un coste económico mucho más elevado, y conllevan más tiempo en la obtención de los resultados. Además, la radiografía genera unos residuos derivados de su uso, como líquidos reveladores y fijadores, que son perjudiciales para el medioambiente y que no se producen del uso de la ecografía. Por último, y no por ello menos importante, la radiación a la que se expone un paciente que debe someterse a pruebas diagnósticas a través de rayos X es perjudicial para el organismo humano, por lo que debería estar restringida a casos extremos donde sea estrictamente necesaria. La ecografía, por el contrario, es una técnica indolora, inocua, muy resolutiva y no invasiva, que no presenta ningún riesgo para el paciente que se somete a ella.

La única desventaja del uso de la ecografía como técnica para la estimación de la edad es que, actualmente, no existen suficientes estudios que demuestren la fiabilidad de este método. En los últimos tiempos se han desarrollado nuevas investigaciones en esta línea que ofrecen resultados muy esperanzadores (Schulz *et alii.*, 2008); (Quirmbach, 2009); (Schulz *et alii.*, 2013); (Gonsior *et alii.*, 2013), pero todavía queda mucho trabajo por hacer antes de que sea reconocida como técnica aplicable en casos de estimación forense de la edad.

13.2.1 ESTUDIO RELATIVO A LA FUSIÓN DE LA EXTREMIDAD ESTERNAL DE LA CLAVÍCULA COMO INDICADOR PARA LA ESTIMACIÓN DE LA MAYORÍA DE EDAD LEGAL

Como se ha comentado anteriormente, la extremidad esternal de la clavícula ha sido objeto de estudio en múltiples investigaciones, desde los inicios de la Antropología Forense, como indicador de la estimación de la edad en sujetos subadultos cercanos a alcanzar la madurez ósea, debido a que su tiempo de fusión lo convierte en la última epífisis del cuerpo que culmina su proceso madurativo.

De entre todos los estudios que se han desarrollado, el primero con validez científica fue el de Stevenson, en 1924, que fue el primer autor en describir los estadios de fusión epifisaria y compararlos con la edad de los sujetos de estudio. Además, fue el primero en descubrir y analizar la llamada “cicatriz epifisaria” (Stevenson, 1924). A partir de este estudio se han ido sucediendo otras investigaciones que han utilizado como referencia dichos estadios de cierre epifisario, y han ido comparando los estados de fusión con los grupos etarios en que han dividido sus muestras de estudio.

Gracias a esto se han desarrollado estudios en diversas poblaciones que han ido proporcionando diferentes intervalos etarios. La mayoría de los estudios han aportado resultados similares en cuanto a los intervalos de edad en los que se producen las fases de fusión completa: para mujeres la fusión completa se sitúa en torno a los 21 años, y para varones alrededor de los 22 años (Glastaun, 1937); (Jit *et alii.*, 1994); (Kretiner *et alii.*, 1998); (Schmeling *et alii.*, 2004); (Schulz *et alii.*, 2005), (Richel, 2005); (Schulz *et alii.*, 2008); (Schulz *et alii.*, 2008); (Quirmbach, 2009); (Garamendi *et alii.*, 2011); (Schulz *et alii.*, 2013), aunque también existen otras investigaciones que sostienen que la fusión completa se produce mucho más tarde en ambos sexos pudiendo alcanzar los 29 o 30 años (Szilvassy, 1977); (Mac Laughlin, 1990); (Schaefer y Black, 2005); (Sigh y Chavali, 2011).

Ocurre lo mismo en cuanto a las fases iniciales de ausencia de fusión que proporcionan resultados diferentes entre las distintas investigaciones. Existen estudios que no observan signos de fusión hasta edades más o menos tempranas, entre los 14 y los 16 años en mujeres y entre los 15 y los 19 años en varones (Galstaun, 1937); (Schulz *et alii.*, 2008); (Sigh y Chavali, 2011); (Schulz *et alii.*, 2013). Otros autores encuentran

signos de fusión en edades un poco más tardías, entre los 18 y los 22 años (Jit y Kulkarny, 1976); (Szilvassy, 1977); (Mac Laughlin, 1990); (Schaefer y Black, 2007).

Estas diferencias podrías ser debidas a varias razones; por una parte a las diferencias entre poblaciones ya que las desigualdades socioeconómicas influyen mucho sobre la alimentación y ésta a su vez sobre el crecimiento y maduración de los huesos y, por otra parte, a las distintas técnicas que se han empleado para la detección de las diferentes fases de cierre epifisario. Cada técnica tiene un poder de detección diferente y unas ventajas e inconvenientes asociados, por lo que se debería consensuar qué metodología es más fiable y a la vez menos perjudicial para las personas que tienen que someterse a estudios de edad en casos de interés forense.

Esta es la razón por la que se ha planteado el uso del ultrasonido como técnica de detección no invasiva en este trabajo. La finalidad es conseguir un protocolo de aplicación en casos de estimación de la edad forense donde se minimice el perjuicio a las personas que deben someterse a dichas pruebas. Además, esta técnica también ofrece otras ventajas, como la poca contaminación que produce y los bajos costes que conlleva.

Por otro lado, se ha seleccionado la población española con el fin de acotar a una población concreta para minimizar errores, y por su facilidad de acceso a voluntarios en fase de crecimiento.

Este estudio se ha llevado a cabo sobre población española actual con edades comprendidas entre los 5 y los 30 años y utilizando la técnica del ultrasonido, con el fin de comprobar la correlación existente entre el tiempo de fusión de la epífisis esternal de la clavícula y los distintos grupos etarios.

Los resultados descriptivos de este estudio muestran la media de edad en cada una de las cuatro fases de fusión que se han establecido, divididos en función del sexo. En el caso de los varones, la media de edad de la fase 0 es de entre 14.36 y 14.64 años (lado derecho e izquierdo, respectivamente), la media de edad de la fase 1 es entre 18.62 y 18.23 años, la media de edad de la fase 2 es entre 19.81 y 19.10 años, y por último, la media de la fase 3 es entre 23.17 y 22.88 años. En el caso de las mujeres, la media de edad en la fase 0 se encuentra entre 15.12 y 14.75 años, en la fase 1 entre 17.84 y 17.63 años, en la fase 2 entre 18.47 y 18.90 años, y finalmente, en la fase 3 entre 22.93 y 22.47 años.

Los resultados obtenidos demuestran que la media de edad de cada fase es menor en mujeres que en varones a excepción de en la fase 0. Estos resultados eran de esperar ya que según la literatura científica la maduración se produce más tempranamente en mujeres que en hombres (Galstaun, 1937); (Owings y Suchey, 1985); (Schulz *et alii.*, 2013).

Tras el estudio descriptivo, se ha realizado una prueba estadística con el fin de comprobar la fiabilidad en la toma de imágenes ecográficas por el mismo investigador, así como su interpretación por otros investigadores. Para ello, se ha calculado el error intraobservador y el error interobservador a través del Coeficiente de Cohen Kappa. Los resultados son superiores a 0.8 en ambos casos, lo que indica muy buena correlación entre los datos obtenidos por el investigador principal y por los observadores secundarios. Por tanto, el grado de repetitividad y reproducibilidad de la técnica empleada es alto.

Para comprobar si existen asimetrías entre diferentes lados y entre ambos sexos, se ha realizado una prueba estadística llamada T-student, que es aplicable en dos versiones distintas: T-student para muestras independientes en caso de querer comprobar si existen diferencias entre sexos, y T-student para muestras relacionadas cuando se quiere saber si existen diferencias significativas entre lados.

Para el caso de la lateralidad se ha generado un p valor de 0.06, que se traduce como una ausencia de diferencias estadísticamente significativas entre lados. En cuanto al caso del género, se ha obtenido un p valor de 0.02, lo que indica que sí se observan diferencias en función del sexo de los individuos.

Este resultado también era de esperar, al igual que en el caso de los resultados del estudio descriptivo, ya que se suelen observar diferencias entre sexos debidas a que el tiempo de maduración es, normalmente, más precoz en caso del género femenino (Galstaun, 1937); (Owings y Suchey, 1985); (Schulz *et alii.*, 2013). Por otro lado, en cuanto a la lateralidad, estos resultados también eran esperables porque la mayoría de estudios que se han realizado a este nivel afirman no haber encontrado diferencias entre lados, incluso hay algunos autores que directamente recomiendan realizar el estudio en ambos lados y utilizar los datos del lado que, indistintamente, se encuentre menos desarrollado como medida preventiva para favorecer la protección del menor (Schmeling *et alii.*, 2004).

El siguiente estudio que se ha realizado ha estado basado en los porcentajes de aparición de los individuos que componen la muestra de estudio en función de la variable de agrupación, fases de maduración. Este estudio ha estado dividido en cuanto al sexo y a la lateralidad. Los resultados muestran una diagonal clara que se va formando porque a medida que aumenta la edad de los individuos, también lo hacen las fases de maduración, lo que sugiere que hay una relación clara entre el cierre epifisario y la edad de los sujetos de estudio.

Por otro lado, es observable que los cambios de fase se producen a una edad más temprana en el caso femenino con respecto al masculino, que sobre todo es apreciable en el cambio de la fase 0 a la fase 1, y de la fase 1 a la fase 2. Esto confirma, de nuevo, que la maduración ósea se produce de manera más precoz en mujeres que en hombres.

En cuanto a la lateralidad, no se observan diferencias muy claras entre el grado de maduración de las clavículas derechas e izquierdas. Ambos resultados son coherentes con los obtenidos en las pruebas anteriores (T-student).

Por último, se ha realizado una prueba estadística de ANOVA para conocer si existen diferencias o no, debidas al azar, entre cada uno de los grupos que se generan gracias a la variable de agrupación, fases de maduración. En el caso de la extremidad esternal de la clavícula, se observa que sí existen diferencias significativas entre los diferentes grupos de edad ($p = 0.001$), en ambos sexos.

Para averiguar entre qué grupos existen esas diferencias, se ha realizado un estudio de subconjuntos homogéneos DUNCAN, que es capaz de discernir entre las medias de los grupos y aportar información sobre las diferencias existentes entre ellos. Los resultados muestran que, tanto en el caso de las mujeres como en el caso de los hombres, existen diferencias entre los cuatro grupos que conforman la variable de agrupación, es decir, que cada una de las fases de fusión de la epífisis esternal de la clavícula genera un grupo diferente.

Finalmente, se ha realizado un resumen de los resultados obtenidos en el que se pueden observar los intervalos etarios que dan lugar a cada una de las fases de clasificación. Para el caso masculino: la fase 0 correspondería a un intervalo etario de entre 5 y 18 años, la fase 1 correspondería a un intervalo de entre 17 y 21 años, la fase 2

correspondería a un intervalo de entre 18 y 22 años, y por último, la fase 3 correspondería a un intervalo de entre 19 y 30 años.

Para el caso femenino, se aprecia un adelanto en el proceso de maduración, como ya se ha explicado anteriormente: la fase 0 correspondería a un intervalo etario de entre 5 y 16 años, la fase 1 correspondería a un intervalo de entre 16 a 20 años, la fase 2 correspondería a un grupo de edad de entre 18 y 22 años, y finalmente, la fase 3 correspondería a un intervalo de entre 18 y 30 años.

Para poder otorgar fiabilidad a estos resultados es necesario realizar una prueba de validación en la que se proporcionen unos porcentajes de acierto para el método propuesto. Esta prueba ha consistido en la clasificación de una muestra de 30 individuos (15 hombres y 15 mujeres), que no habían estado incluidos en el estudio, para conocer el porcentaje de acierto entre la edad estimada por el método y la edad real de cada uno de ellos. Los resultados muestran porcentajes de acierto del 85% en caso masculino y del 90% en caso femenino.

Los intervalos etarios que se producen en este trabajo para el caso de la fusión de la epífisis esternal de la clavícula indican que, para el caso masculino, un grado madurativo correspondiente a la fase 0 indicaría una edad menor de 18 años, mientras que para el caso femenino, una fase 0 indicaría una edad menor de 16 años.

Por otro lado, cualquier individuo masculino que presente un grado de maduración de la epífisis esternal de la clavícula en fase 3 tendría más de 19 años, mientras que para el caso femenino, un grado de fusión en fase tres indicaría una edad mayor de 18 años.

Las fases 0 y 3 proporcionan resultados bastante esperanzadores ya que se ajustan con mucha precisión a la mayoría de edad legal en España (18 años). Sólo aplicando esas dos fases de podría realizar un diagnóstico de la edad bastante preciso. No obstante, las fases intermedias, 1 y 2, no aportan resultados tan fiables ya que los intervalos etarios que proporcionan se solapan entre ellos, lo que genera confusión y poca confianza en los resultados.

Estos resultados están en consonancia con otras investigaciones anteriores donde se observa una fase 0 que se relaciona con sujetos menores de 19 años en varones, y menores de 16 años en mujeres (Galstaun, 1937), menores de 18 a 20 años en ambos sexos (Szilvassy, 1977), menores de 21 años en varones y de 16 años en mujeres (Jit *et*

alii., 1994), menores de 17 años en ambos sexos (Schaefer y Black, 2005), menores de 17 años en ambos sexos (Schulz *et alii.*, 2008) y, menores de 18 años en ambos sexos (Sigh y Chavali, 2011); mientras que se encuentra en discordancia con otros trabajos que sostienen que la fase 0 se mantiene hasta edades más avanzadas, alrededor de los 22 años en ambos sexos (Jit y Kulkarny, 1976) y, hasta los 25 años en varones y hasta los 23 en mujeres (Owings y Suchey, 1985).

Por otro lado, en cuanto a la correspondencia etaria con la fase 3, la mayoría de autores que han realizado trabajos anteriores obtienen resultados que se encuentran por encima de la edad mínima para la fase 3 que se ha obtenido en este estudio, encontrándose investigaciones donde la fase 3 corresponde a sujetos mayores de 20 años en mujeres y 22 años en varones (Galstaun, 1937), mayores de 22 años en ambos sexos (Jit y Kulkarny, 1976), mayores de 26 años en ambos sexos (Szilvassy, 1977), mayores de 21 en el caso masculino y de 20 en el caso femenino (Owings y Suchey, 1985), mayores de 20 años para varones y de 21 para mujeres (Jit *et alii.*, 1994), mayores de 22 años en ambos sexos (Kretiner, 1997), mayores de 20 años en mujeres y mayores de 21 años en varones (Schmeling *et alii.*, 2004), mayores de 21 años en ambos sexos (Schulz *et alii.*, 2005), mayores de 20 años en ambos sexos (Richel, 2005), mayores de 29 años en ambos sexos (Schaefer y Black, 2005), mayores de 22.5 años en ambos sexos (Schulz *et alii.*, 2008), mayores de 21 años en ambos sexos (Quirmbach, 2009), mayores de 26 años en ambos sexos (Kellinghaus *et alii.*, 2011), mayores de 21 años en varones y de 20 años en mujeres (Bassed, 2011) y, mayores de 20 años en ambos sexos (Garamendi *et alii.*, 2011).

El único estudio que presenta unos límites de edad que se encuentran en torno a los resultados que se han obtenido para este estudio ha sido el trabajo que realizaron Schulz y colaboradores en 2013, que concluye que los registros más precoces donde se produce la fusión completa de la epífisis esternal de la clavícula se encuentran los 19.3 años en varones y a los 18.9 años en mujeres (Schulz *et alii.*, 2013).

Tanto en el estudio de Schulz como en el presente trabajo se obtienen resultados de fusión epifisaria en edades mucho más tempranas que en el resto de los estudios anteriores. Esto puede explicarse por dos razones: la primera de ellas estaría basada en la técnica que se ha empleado para la detección de los estadios de fusión epifisaria, que en ambos casos ha sido la ecografía. En los anteriores estudios se utilizó la radiografía o

la tomografía y el uso de una técnica diferente de detección puede proporcionar resultados distintos debido a la precisión de la misma y la pericia del investigador. Y, en segundo lugar, la aparición de fusión completa en edades más tempranas puede tener relación con los distintos hábitos sociales y nutricionales que han sufrido algunas poblaciones en pocos años. La investigación de Schulz y el presente estudio se han desarrollado con población caucasoide actual (alemana y española, respectivamente), que han variado mucho sus hábitos alimenticios en los últimos tiempos, al contrario de las anteriores investigaciones que se han desarrollado sobre poblaciones más antiguas, casi siempre sobre cadáveres esqueletizados de colecciones óseas.

13.2.2 ESTUDIO RELATIVO A LA FUSIÓN DE LA EPÍFISIS PROXIMAL DEL HÚMERO COMO INDICADOR PARA LA ESTIMACIÓN DE LA MAYORÍA DE EDAD LEGAL

Al contrario que ocurría con la epífisis esternal de la clavícula, que ha sido objeto de estudio en numerosas investigaciones, la extremidad proximal del húmero no está tan bien estudiada y por ello su proceso de maduración y fusión no ha sido contemplado como indicador para la estimación forense de la edad, aunque se sabe que la fusión completa de su epífisis proximal se encuentra en torno a los 18 años, en ambos sexos.

El primer estudio relevante que aporta datos reales sobre los intervalos etarios de fusión epifisaria del húmero es el de Flecker, en 1933, que concluye que la edad más precoz a la que se observa el estadio de fusión completa de la epífisis proximal se encuentra a los 16.8 años en mujeres y a los 16.0 años en varones, mientras que la edad más tardía a la que se observa aumenta hasta los 18.0 años en mujeres y 19.2 años en varones (Flecker, 1933).

El siguiente estudio relativo a la fusión de la epífisis proximal del húmero no se produce hasta el año 2000 cuando Scheuer y Black incluyen este estudio dentro de su libro “Developmental juvenile osteology”. Los resultados que proponen en su libro encuadran el estadio de fusión completa de la epífisis proximal del húmero entre 13 y 17 años en mujeres, mientras que se atrasa a un intervalo de entre 16 y 20 años en varones (Scheuer y Black, 2000).

Por último, Cardoso, en 2008, realizó un trabajo sobre el grado de maduración de la extremidad superior donde se incluye el cierre metafisario de la extremidad proximal del húmero (Cardoso, 2008). Los resultados concluyen que la ausencia de fusión es observable en sujetos menores o iguales a 16 años, en el caso femenino, y en individuos menores o iguales a los 21 años, en el caso masculino. Por otra parte, el autor observa estadios de fusión completa a partir de los 16 años en el caso femenino y de los 26 años en el caso masculino.

En todos los casos anteriores los intervalos etarios en que se produce el estado de fusión completa de la epífisis proximal del húmero coinciden. La única excepción ocurre en el estudio de Cardoso, cuando concluye que la fusión completa aparece en individuos varones a partir de los 26 años de edad. Este resultado no coincide con el resto de investigaciones y tampoco parece ser coherente con el proceso madurativo general del esqueleto. Probablemente la muestra de estudio estuvo sesgada en algunos intervalos etarios y por ello se obtuvieron esos resultados.

Todos los estudios anteriormente citados han sido desarrollados sobre muestras de cadáveres esqueletizados, sin embargo, el presente estudio se ha llevado a cabo sobre una muestra de sujetos vivos. Además, se ha incluido una técnica novedosa, el ultrasonido, que no había sido utilizada previamente para la detección del cierre de los cartílagos metafisarios en esta región anatómica. Por estas razones, el presente estudio es el primero que se diseña en la región proximal del húmero como indicador para la estimación de la mayoría de edad legal y utilizando una técnica no invasiva y novedosa como es la ecografía.

Este estudio se ha realizado sobre población española actual de centros docentes de La Comunidad de Madrid, de entre 5 y 30 años, con el fin de minimizar errores debidos a diferentes niveles socioeconómicos en distintas poblaciones.

Los resultados descriptivos de este estudio muestran que la media de edad, tanto en hombres como en mujeres, aumenta a medida que lo hace el grado de maduración o cierre epifisario establecido por las seis fases de fusión. En el caso de los varones, la media de edad de la fase 0 es de entre 6.04 y 6.18 años (lado derecho e izquierdo, respectivamente), la media de edad de la fase 1 es entre 8.95 y 9.31 años, la media de edad de la fase 2 es entre 11.87 y 12.11 años, la media de edad en la fase 3 es entre 14.52 y 14.85, la media de edad en la fase 4 es entre 16.77 y 17.23 y, por último, la

media de la fase 5 es entre 22.84 y 22.91 años. En el caso de las mujeres, la media de edad en la fase 0 es 5 (tanto en el lado derecho como en el lado izquierdo), en la fase 1 se encuentra entre 9.27 y 9.32 años, en la fase 2 entre 10.25 y 10.64 años, en la fase 3 entre 14.81 y 15.21 años, en la fase 4 entre 17.54 y 17.63 años y, finalmente, en la fase 5 entre 22.93 y 22.47 años.

Tras el estudio descriptivo, se ha calculado el grado de fiabilidad en la toma de imágenes ecográficas por el investigador principal, así como el grado de reproducibilidad por otros investigadores secundarios. Para ello, se ha calculado el error intraobservador y el error interobservador a través del Coeficiente de Cohen Kappa. El coeficiente ofrece unos resultados superiores a 0.8 en ambos casos, lo que indica el grado de repetitividad y reproducibilidad de la técnica empleada es elevado.

Para comprobar si existen diferencias entre lados y entre sexos, se han realizado las pruebas T-student para muestras independientes y T-student para muestras relacionadas, respectivamente. Para el caso de la asimetría se ha obtenido un p valor de 0.23, que significa que no se aprecian diferencias estadísticamente significativas entre lados. En cuanto al caso del sexo, se ha obtenido un p valor de 0.01, lo que indica que sí se observan diferencias en función del sexo de los individuos.

Este resultado era esperable, ya que la hipótesis inicial estaba basada en que, normalmente, el tiempo de maduración es más adelantado en mujeres que en varones, tal y como lo demuestra la literatura científica (Galstaun, 1937); (Owings y Suchey, 1985); (Schulz *et alii.*, 2013). Por otro lado, en cuanto a la lateralidad, la mayoría de estudios de maduración no encuentran diferencias entre lados y, por ello, se recomiendan utilizar los datos del lado que se encuentre menos desarrollado con la finalidad de proteger las garantías del menor (Schmeling *et alii.*, 2004).

En cuanto a los porcentajes de aparición de los individuos que componen la muestra de estudio en función de las fases de maduración, los resultados muestran un aumento de la edad de los individuos a medida que también lo hacen las fases de maduración. Esto significa que existe una relación clara entre el cierre epifisario y la edad de los sujetos de estudio.

Además, se observa que los cambios de fase se producen antes en el caso de las mujeres, lo que confirma que la maduración ósea se produce de manera más adelantada en género femenino.

Por último, se ha realizado una prueba estadística de ANOVA para conocer si existen diferencias entre los grupos que genera la variable de agrupación, fases de maduración. Para la extremidad proximal del húmero, se obtiene un resultado positivo ($p = 0.001$), lo que indica que sí existen diferencias, no debidas al azar, entre los distintos grupos etarios.

Para averiguar entre qué grupos existen esas diferencias, se ha realizado un estudio de subconjuntos homogéneos DUNCAN, que compara las medias de los diferentes grupos de clasificación y permite discernir entre ellos. Los resultados muestran que, en ambos sexos, existen diferencias entre los seis grupos etarios, es decir, que cada una de las fases de fusión de la epífisis proximal del húmero genera un grupo diferente.

Por último, se ha realizado una tabla resumen para condensar la información obtenida en el estudio estadístico. Para el caso masculino: la fase 0 correspondería a un intervalo etario de entre 5 y 7 años, la fase 1 correspondería a un intervalo de entre 8 y 11 años, la fase 2 correspondería a un intervalo de entre 10 y 13 años, la fase 3 correspondería a edades comprendidas entre los 13 y 15 años, la fase 4 se incluiría en el intervalo de entre 16 y 17 años y, por último, la fase 5 correspondería a un intervalo de entre 17 y 30 años.

Para el caso femenino, se aprecia una evolución más adelantada en el proceso de maduración: la fase 0 correspondería a un intervalo etario de entre 5 y 6 años, la fase 1 correspondería a un intervalo de entre 7 a 10 años, la fase 2 correspondería a un grupo de edad de entre 10 y 11 años, la fase 3 se encuentra entre los 13 y los 15 años, la fase 4 correspondería a un intervalo de 15 a 16 años y, finalmente, la fase 5 correspondería a edades comprendidas entre 17 y 30 años.

Con el fin de comprobar la fiabilidad de estos resultados se ha realizado una prueba de validación. Esta prueba ha consistido en la clasificación de una muestra de 30 individuos (15 hombres y 15 mujeres), que no estuvieron incluidos en el presente estudio, para conocer el porcentaje de acierto entre la edad estimada por el método

propuesto y la edad real de cada uno de ellos. Los resultados muestran porcentajes de acierto del 90% en caso masculino y del 95% en caso femenino.

En el presente trabajo los estados de fusión completa de la epífisis proximal del húmero se producen a partir de los 17 años, en ambos sexos. Este resultado es compatible con algunos de los anteriores estudios realizados a este nivel que proponen las edades más tempranas de fusión a partir de: los 16.8 años en mujeres y de los 16 años en varones (Flecker, 1933), los 16 años en varones (Scheuer y Black, 2000) y, los 16 años en mujeres (Cardoso, 2008). En estos dos últimos trabajos, las edades de fusión de fusión completa de las mujeres, en el primer caso, y de los varones, en el segundo caso, son muy diferentes a los resultados obtenidos en este estudio e incoherentes con el proceso madurativo general del esqueleto humano, por lo que, probablemente, la muestra no haya sido óptima y haya tenido algún tipo de sesgo en cuanto a las edades de las poblaciones de estudio.

Según los resultados del presente estudio, cualquier individuo que presente un estado de fusión completa de la epífisis proximal del húmero será mayor de 17 años, en ambos sexos. Este resultado, por sí sólo, no es muy significativo para la estimación de la mayoría de edad legal, que en España son 18 años, ya que tan sólo se puede asegurar que el paciente de estudio es mayor de 17 años. En ningún caso se podría afinar a saber si es mayor de edad o no utilizando sólo estos resultados.

No obstante, la aplicación conjunta de este método junto con el que proporciona el cierre epifisario de la extremidad esternal de la clavícula, podrían proporcionar buenos resultados ya que las edades de fusión son complementarias y los resultados de una prueba podrían apoyar a los resultados de la otra.

13.3 PROTOCOLO DE ACTUACIÓN COMPLEMENTANDO AMBAS VARIABLES

El uso de las técnicas ecográficas con fines de estimación de edad en casos de interés forense no se encuentra aún contemplado en ningún protocolo para el diagnóstico de la edad, debido a que su fiabilidad y precisión todavía no han sido comprobadas por la comunidad científica.

Sin embargo, cada vez son más los estudios que se están desarrollando en torno a esta línea de investigación y, es indiscutible que, si se demostrase su fiabilidad, este tipo de técnicas no invasivas terminarían sustituyendo a las técnicas radiográficas.

Para poder avanzar en este tipo de estudios, es necesario crear metodologías claras, de fácil aplicación y que proporcionen resultados fiables. Para ello sería de mucha utilidad la creación de un atlas de maduración basado en la técnica ecográfica en diferentes regiones anatómicas, de tal manera que sea posible utilizar el estudio de fusión de varios huesos, en función del intervalo etario que proporcione el desarrollo madurativo de cada uno de ellos. Utilizando el patrón de cierre metafisario de varias regiones anatómicas, indudablemente, se reduciría el error en el diagnóstico forense de la edad.

En el presente estudio se propone un análisis conjunto del proceso de maduración de la epífisis esternal de la clavícula y de la epífisis proximal del húmero.

Los resultados del cierre de la epífisis esternal de la clavícula muestran que, para el caso masculino, un grado de fusión correspondiente a la fase 0 indicaría una edad menor de 18 años, mientras que para el caso femenino, una fase 0 indicaría una edad menor de 16 años. Además, cualquier individuo varón que presente un grado de maduración en fase 3 tendría más de 19 años, mientras que para las mujeres, un grado de fusión en fase 3 indicaría una edad mayor de 18 años.

Según las conclusiones anteriores, las fases 0 y 3 proporcionan resultados bastante esperanzadores ya que se ajustan con mucha precisión a la mayoría de edad legal en España (18 años). El problema es que, algunas veces, es complicado distinguir entre una fase 0 y una fase 3 debido a que la morfología que se observa a través de la imagen ecográfica es muy parecida. La fase 0 de cierre de la epífisis esternal de la clavícula, sin centro de osificación, termina en una línea recta, mientras que la fase 3 culmina en una línea curva. Esto debería ser suficiente para poder distinguirlas aunque, en ocasiones, la diferente morfología que presentan las clavículas puede llevar a confusión.

Este problema sería solventarle si se utilizase de manera conjunta al anterior, el estudio del cierre epifisario de la extremidad proximal del húmero, ya que, según los resultados del presente estudio, cualquier individuo que presente un estado de fusión completa de la epífisis proximal del húmero será mayor de 17 años, en ambos sexos.

Gracias a estos resultados, se podría afinar mucho más en el diagnóstico de la mayoría de edad legal porque, en caso de no poder diferenciar entre una fase 0 y una fase 3 de cierre epifisario de la extremidad esternal de la clavícula, se podría realizar una ecografía de la epífisis proximal del húmero que, al presentar un desarrollo madurativo diferente, ayudase a la clasificación de la imagen ecográfica en una fase o en otra.

De esta manera, un estado de fusión encuadrado en una fase 5 de la epífisis proximal del húmero va a favorecer al diagnóstico de una fase 3 de cierre epifisario de la extremidad esternal de la clavícula, mientras que cualquier otra fase anterior de fusión del húmero va a favorecer a la selección de la fase 0 de la misma.

Gracias al estudio conjunto de varias regiones anatómicas se podría aumentar la fiabilidad del resultado.

No obstante, la problemática actual de España no reside en las personas españolas no documentadas, sino que los casos reales a los que se encuentra sometida la administración de Justicia son precisamente sobre grupos poblacionales del norte de África y del este de Europa donde no existen estándares de maduración aplicables. Este problema es difícilmente solventable ya que no es fácil el acceso a estudio de otras poblaciones con fines científicos, por lo que, actualmente, se están extrapolando los estándares estudiados en poblaciones occidentales teniendo en cuenta que podría existir cierto margen de error al aplicarlos en casos forenses.

Por esta razón, la mayoría de los protocolos de aplicación coinciden en que se debe tener mucha seguridad a la hora de emitir un informe de estas características y en caso de duda se deberá favorecer la protección del menor.

14. CONCLUSIONES

1. Las variables de estudio basadas en las medidas de densidad de gris, media de gris en la extremidad esternal y acromial de la clavícula, no presentan buena correlación con la edad en individuos adultos y, por tanto, no son buenas indicadoras, por sí solas, para la estimación de la misma.
2. El estudio morfométrico de la disminución que sufre el grosor de la cortical, tanto a nivel anterior como posterior de la clavícula, proporciona intervalos etarios que no sobrepasan los 20 años y que pueden alcanzar edades de hasta 80 años, lo que implica que pueden ser utilizados como indicadores para la estimación forense de la edad en sujetos adultos.
3. Las ecuaciones de regresión que resultan de la combinación de las variables: medias de densidad de gris e índices claviculares, proporcionan resultados que demuestran que dichas ecuaciones son herramientas muy útiles para la estimación de la edad en individuos adultos.
4. El estudio morfométrico de las variaciones que sufre el diámetro trabecular en las regiones: acromial, esternal y cavidad medular de la clavícula, no proporciona buenos resultados para la estimación de la edad en sujetos adultos, ya que los intervalos etarios no son precisos, oscilando entre los 20 y los 40 años.
5. El estudio morfométrico de las variaciones que ocurren en el diámetro trabecular de las dos variables seleccionadas en la escápula: cuello de la escápula y borde axilar de la misma, genera intervalos etarios muy extensos que no proporcionan resultados fiables para la estimación de la edad en individuos adultos.
6. El estudio de las variaciones que ocurren a nivel de la arquitectura trabecular en las dos regiones seleccionadas de la escápula: cuello y borde axilar, proporcionan intervalos de edad de 20 años como máximo, llegando a incluir edades de hasta 70 años. Estos resultados, junto con la facilidad de reproducción de la técnica, hacen que pueda ser considerado como un buen indicador para la estimación de la edad en adultos.

7. El estudio de la fusión de las articulaciones manubrioesternal y xifoesternal no presenta una buena correlación con la edad de los sujetos de estudio y, por tanto, no debería ser utilizada para la estimación forense de la edad en individuos adultos.
8. El estudio de la fusión de la epífisis esternal de la clavícula, aplicando el método de la ecografía, ha proporcionado resultados que indican que se trata de un buen indicador para la estimación de la mayoría de edad legal en España, ya que las fases 0 y 3 de cierre metafisario generan resultados muy cercanos a los 18 años, en ambos sexos. Además, la técnica ecográfica es muy sencilla de usar y fácilmente repetible.
9. El estudio de la fusión de la epífisis proximal del húmero, utilizando la ecografía como método diagnóstico, no proporciona resultados muy precisos para la estimación de la mayoría de edad legal en España, debido a que la fase 5 de fusión sólo indica que, en todos los casos, el sujeto de estudio tendría más de 17 años de edad.
10. La aplicación del estudio conjunto de la fusión de la extremidad esternal de la clavícula y de la epífisis proximal del húmero proporciona mayor precisión para la estimación de la mayoría de edad legal en España (18 años).

15. BIBLIOGRAFÍA

- Abdel Fatah E, Shirley NR, Mahfouz MR, Auerbach BM. A three-dimensional analysis of bilateral directional asymmetry in the human clavicle. *Am J Phys Anthropol.*2012;149:547–559.
- Acsádi G, Nemeskeri J. History of human span and mortality. Budapest. Akadémiai Kiadó. 1970.
- Ahlqvist J, Damsten O. A modification of Kerley's method for the microscopic determination of age in human bone. *J Forensic Sci.* 1969; 14:205-212.
- Albert AM, Maples WR. Stages of epiphyseal union for thoracic and lumbar vertebral center as a method of age determination for teenage and young adult skeletons. *Journal of Forensic Sciences.* 1995; 40: 623-633.
- Albert AM. The use of vertebral ring epiphyseal union for age estimation in two cases of unknown identity. *Forensic Science International.* 1998; 97: 11-20.
- Alduc-le Bagousse. Estimation de l'âge des non-adultes: maturation dentaire et croissance osseuse. Données comparatives pour deux nécropoles médiévales bas-normandes. Actes des 3^{èmes} Journées Anthropologiques. Notes et Monographies techniques n24. Paris: Éditions du CNRS.1988.
- Alexeev VP, Debetz GF (1964) Introducción a la craneometría. Moscú, Nauka. *Am J Phys Anthropol.*1964; 23: 149–163.
- Anton HC. Width of clavicular cortex in osteoporosis. *Br Med J.*1969;1:409 411.
- Antonetti C. Secuencia de aparición de los centros de osificación del pie durante el período de vida intrauterino en material humano. *Investi Clin.* 1997; 38(3):127-138.

- Aoyagi K, Takemoto T, Moji K. Changes in Cortical thickness of the clavicle and serum bone gamma-carboxyglutamic acid-containing protein in the elderly in an island community in Western Japan. *Tohoku J Exp Med*.1988;156:251-258.
- Bassed RB, Drummer OH, Briggs C, Valenzuela A. Age estimation and the medial clavicular epiphysis: analysis of the age of majority in an Australian population using computes tomography. *Forensic Sci Med Pathol*.2011;7:148-154.
- Benito M, Sánchez JA. Estimación de la edad en adultos mediante métodos radiológicos y de análisis de imagen en el esternón y la escápula. *Cuad Med Forense*. 2013;vol.19:nº3-4.
- Benito M. Estudio para la determinación de la edad ósea en adultos a través de métodos radiográficos y de análisis de imagen en clavícula. Trabajo de Fin de Máster. Universidad Complutense de Madrid. 2011.
- Birkner R. Normal radiologic patterns and variances of the human skeleton. Urban and Schwarzenberg, Baltimore. 1978.
- Black S, Scheuer L. Age changes in the clavicle: from the early neonatal period to skeletal maturity. *International Journal of Osteoarchaeology*. 1996; 6: 425-434.
- BOE núm 281, 1995. Código Penal. Artículo 19.
- BOE núm 331. 1978. Constitución Española.
- Bonsell S, Pearsall AW, Heitman RJ, Helms CA, Major NM, Speer KP. The relationship of age, gender, and degenerative changes observed on radiographs of the shoulder in asymptomatic individuals. *J Bone Joint Surg*. 2000; 82-B:1135-9.
- Brogdon BG. *Forensic Radiology*. CRC Press 1998. Brooks S, Suchey JM. Skeletal age determination based on the os pubis: a comparison of the Ascadi-Nemeskeri and Suchey-Brooks methods. *Journal of Human Evolution*. 1990; 5:227-238.

- Brooks ST. 1955. Skeletal age at death: the reliability of cranial and pubic age indicators. *Am J Phys Anthropol.* 1955; 13:567-589.
- Brothwell DR. The relationship of tooth wear to aging. En MY Iscan (ed) *Age makers in human skeleton*. CC. Thomas Publisher, Springfield, Illinois. 1989; 303-316.
- Bryce, T.H. *Quain's Elements of Anatomy, Osteology and Arthrology*. 11th ed. Part IV, London. 1915.
- Bueno M, Sarriá A, Bueno M. Estudio de la maduración ósea en niños obesos aragoneses de ambos sexos. *An Esp Pediatr.* 1996. 45: 29-32.
- Buikstra JD, Ubelaker DH, Aftandilian DA. Standards for data collection from human skeletal remains. *Arkansas Archaeology Survey*. Fayetteville. 1994.
- Cardoso H. Patterns of growth and development of the human skeleton and dentition in relation to environmental quality. A biocultural analysis of a sample of 20th century Portuguese subadult documented skeletons. Tesis de doctorado. McMaster university, Hamilton, Ontario. 2005.
- Cardoso HF. Age estimation of adolescent and young adult male and female skeletons II, epiphyseal union at the upper limb and scapular girdle in a modern Portuguese skeletal sample. *Am J Phys Anthropol.* 2008; 137(1):97-105.
- Carlson BM. *Embriología humana y biología del desarrollo*. Ed. Elsevier. 3^a Edición. 2004.
- Castellana C, Kósa F. Morphology of the cervical vertebrae in the fetal and neonatal human skeleton. *Journal of Anatomy.* 1999; 194: 147-152.
- Chandrakant HV, Kanchan T, Krishan K, Arun M, Pramod Kumar GN. Estimation of age from human sternum: an autopsy study on a sample from South India. *Int J Leg Med.* 2012; 126(6) 863-868.

- Charles DK, Condon K, Cheverud JM, Buikstra JE. Estimating age at death from growth layer groups in cementum. En MY Iscan (ed) Age makers in human skeleton. CC. Thomas. 1989; 277-301.
- Cho BP, Kang HS. The articular facets of coracoclavicular joints in Koreans. Acta Anat. 1998; 163:413-414.
- Cox LA. Tanner-Whitehouse method os assessing skeletal maturity: problems and common errors. Horm Res, 1996; 45 (suppl 2): 53-55.
- Crétot M. L'arcade dentaire humaine (Morphologie). 10^{ma} edición. Paris: Julien Prélat. 1978.
- Dabbs G, Moore-Jansen P. Age changes in the adult human scapula. HOMO-J Compartive Human Biology. 2012; 63:368-384.
- Demirjian A, Godstein LH, Tanner JH. A new system of dental age assessment. Human Biol. 1973; 42: 211-217.
- Dixon, A.F. Manual of Human Osteology. London. 1912.
- Donald I, Brown T.G. Demonstration of tissue interfaces within the body by ultrasonic echo sounding. Br. J. Radiol. 1961; 34:539-546.
- Donald I, Brown TG. Diagnostic applications of ultrasound. Proc. 3rd. Int. Conf. Med. Electron. London. 1961; P. 458.
- Drusini AG, Toso O, Ranzato C. The coronal pulp cavity index: a biomarker for age determination in human adults. Am J Phys Anthropol. 1997; (3):353-63.
- Dudar JC, Pfeiffer S, Saunders SR. Evaluation of morphological and histological adult skeletal age-at-death estimation techniques using ribs. J Forensic Sci. 1993; 38(3):677-685.
- Dussik, KT. On the possibility of using ultrasound waves as a diagnostic aid. Neurol. Psychiat. 1942; 174:153-168.

- Dwight T. The sternum as an index of sex, Age and Height *Journal of Anatomy*. 1881; 15: 327 - 330.
- Dwight T. The closure of the sutures as a sign of age. *Boston Med. and Surg. J.* 1890; 122:389-392.
- European Commission. Radiation protection (2004).
- Fazekas GI, Kósa F. Forensic fetal osteology. Budapest. Akademiai Kiadó. 1978.
- Feducib CB. Roentgenogrammetry in diagnosis of age-dependent changes of the bone tissue. *Ukrainian J Radiol*. 2003; 11(2):21-24.
- Field EJ, Harrison RJ. Anatomical terms: their origin and derivation. Cambridge: Heffer. 1957.
- Flecker H. Roentgenographic observations of the times of appearance of epiphyses at the medial end of the clavicle. *J Ant*. 1993; 67:118-164.
- Flecker H. Time of appearance and fusion of ossification centers as observed by Roentgenographic methods. *AJR*. 1942; 47:97-159.
- Fokin SI. Professor W.T. Schewiakoff: life and science. *Protist* 2000; 151:181-189.
- Francis C. The appearance of centres of ossification from birth to 5 years. *American journal of Physical Anthropology*. 1940; 24: 273-299.
- Fujita T, Orimo H, Ohata M, Yoshikawa M. Changes in the cortical thickness of the clavicle according to age. *J Am Geriatr Soc*. 1968; 16(4):458-462.
- Galstaun G. A study of ossification as observed in Indian subjects. *Indian J Med Res*. 1937; 25:267-324.
- Garamendi PM, Landa MI. Estimación forense de la edad en torno a los 18 años. Revisión bibliográfica. *Cuad Med Forense*. 2003; Num 31, pp 13-24.
- Garamendi PM, Bañón R, Pujol A, Aguado FF, Landa MI, Prieto JL, Serulla F. Recomendaciones sobre los métodos para la estimación forense de la edad de los

- menores extranjeros no acompañados. Documento de consenso de buenas prácticas entre Institutos de Medicine Legal de España (2010). *Rev Esp Med Legal*, 2011; 37(1): 22-29.
- Garamendi PM, Landa MI, Botella MC, Alemán I. Forensic age estimation on digital X-ray images: Medial epiphyses of the clavicle and first rib ossification in relation to chronological age. *J Forensic Sci.* 2011; 56(1):3-12.
 - Garamendi PM. Análisis de parámetros de maduración ósea como indicadores de edad en estudios de radiología digital de tórax y estudios de radiología panorámica dental digital. Tesis Doctoral. Universidad de Granada. 2007.
 - Garg A, Goyal N, Gorea RK. Radiological age estimation from xiphi-sternal joint in living person. *J Indian Acad Forensic Med.* 2011; 33:27-9.
 - Garn SM, Rohman CG, Blumenthal T, Silverman FN. Ossification commonalities of the hand and other body parts: Their implications to skeletal assessment. *Am J Physical Anthropology.* 1967; 27: 75-82.
 - Gautam RS, Shah GV, Jadav HR, Gohil BJ. The human sternum - as an index of age and sex. *J Anat Soc India.* 2003; 52:20-3.
 - Gilbert BM, McKern TW. A method for aging the female os pubis. *American Journal of Physical Anthropology.* 1973; 38:31-38.
 - Gonsior M, Ramsthaler F, Gehl A, Verhoff Ma. Morphology as a cause for different classification of the ossification stage of the medial clavicular epiphysis by ultrasound, computer tomography, and macroscopy. *Int J Leg Med.* 2013; 127(5):1013-1021.
 - Graves WW. Observations on age changes in the scapula: a preliminary note. *Am. J. Phys. Anthropol.* 1922; 5, 21–33.
 - Greulich WW, Pyle SI. Radiographic atlas of skeletal development of the hand and wrist. Stanford University Press, 1950-1959.

- Guerasimov MM. Vostanoulénie Lista po Cherepu. Academia de Ciencias de la URSS. Instituto de Etnografía “Maklujo Maklai” Moscú. 1955.
- Gustafson G, Koch G. Age estimation up to 16 years of age based on dental development. *Odontologisj Revy*. 1974; 25: 297-306.
- Guyton. Tratado de Fisiología Médica. Elsevier España. 12ª Edición. 2011.
- Hainaut K. Introducción a la biomecánica. Edit. Jims. Barcelona 1989.
- Hansen G. Die alterbestimmung am proximalen humerus und femurende in rahmen der identifizierung menschlicher skeltreste. *Wissenschaftliche Zeitschrift der Humboldt-Universitat zu Berlin, Mathematisch-naturwissenschaftliche Reihe*. 1954; 3, 1-73.
- Heffman PM, Bada JL. Aspartic acid racemization in dentine as a measure of ageing. *Nature*. 1976; 262(5566):279-281.
- Helelä T. Age dependant variations of the cortical thickness of the clavicle. *Ann Clin Res*. 1969; 1:140-143.
- Henle, J. Pnder Zwischen beiden Huftknochen. *Handbuch der Banderlehre des Menschen (Handbuch der systematischen Anatomie)*, 2a Aufl. 1872; 121.
- Heródoto. Historia: libro III “Talia” 12:1-4. Madrid: Gredos; 1986.
- Hoppa RD. Evaluationg human skeletal growth: and Anglo-Saxon example. *Intenational Journal of Osteoarchaeology*. 1992; 2: 275-288.
- Houzé M. La clavicle dans la série de Sainte-Gudule a Bruxelles. Caractères différentiels des clavicles droite et gauche dans les deux sexes. *Mém Soc Anthropol Bruxelles*. 1908; 27:1-10.
- Howry, D.H. The ultrasonic visualization of soft tissue structures and disease processes. *J. Lab. Clin. Med*. 1952; 40:812-813.
- Ikeda N, Umetsu K, Kashimura S, Suzuki T, Oumi M. Estimation of age from teeth with their soft X-ray findings. *Jap. J. For. Med*. 1985; 39: 244-250.

- Iscan MY, Loth SR, Wright RK. Metamorphosis at sternal rib end: a new method to estimate age at death in white males. *Am J Phys Anthropol.* 1984a; 65:147-156.
- Iscan MY, Loth SR, Wright RK. Age estimation from the rib by phase analysis: white males. *J Forensic Sci.* 1984b; 29:1094-1104.
- Iscan MY, Loth SR. Determination of age from sternal rib in white females: a test of phase method. *J Forensic Sci.* 1986; 31(3): 990-999.
- Iscan MY, Loth SR. Determination of age from the sternal rib in white males: a test of the phase method. *J Forensic Sci.* 1986; 31(1):122-132.
- Iscan MY. The aging process in the rib: an analysis of sex- and ancestry- related morphological variation. *American Journal of Human Biology.* 1991; 3: 617-623.
- Iscan, MY. Concepts in Teaching Forensic Anthropology. *Medical Anthropology Newsletter* 1981; 13(1): 10-12.
- Izquierdo M. *Biomecánica y bases neuromusculares de la actividad física y el deporte;* Ed Panamericana; Madrid. 2008.
- Ji L, Terazawa K, Tsukamoto T, Haga K. Estimation of age from epiphyseal union degrees of the sternal end of the clavicle. *Hokkaido Igaku Zasshi.* 1994; 69(1):104-111 (*Hokkaido Journal of Medical Science*).
- Jit I, Bakshi V. Time of fusion of the human mesosternum with manubrium and xiphoid process. *Indian J Med Res.* 1986; 83:322-31.
- Jit I, Kulkarni M. Times of appearance and fusion of epiphyses at the medial end of the clavicle. *Indian J Med Res.* 1976; 64(5):773-782.
- Kahana T, Birkby WH, Goldin L, Hiss J. Estimation of age in adolescents- The basilar sunchondrosis. *Journal of Forensic Sciences.* 2003; 48: 1-5.
- Kanchan T, Mohan Kumar TS, Pradeep Kumar G, Yoganarasimha K. Skeletal asymmetry. *J Forensic Leg Med* 2008; 15(3):177–179.

- Kaneriya D, Umarvanshi B, Patil D, Mehta C, Chauhan K, Vora R. Age determination from fusion of the sternal elements. *Int. J. Basic Applied Med. Sci.* 2013; 3(2):22-9.
- Kapandji IA. Cuadernos de Fisiología Articular. 5ª edición. Editorial Médica Panamericana. Madrid. 2002.
- Kaur H, Jit I. Age estimation from cortical index of the human clavicle in Northwest Indians. *Am J Phys Anthropol.* 1990; 83(3):297-305.
- Kellinghaus M, Schulz R, Vieth V, Schmidt S, Schmeling A. Forensic age estimation in living subjects based on the ossification status of the medial clavicular epiphysis as revealed by thin-slice multidetector computed tomography. *Int J Legal Med.* 2010; 124:149–154.
- Kerley ER. The microscopic determination of age in human bone. 1965.
- Kerley ER, Ubelaker DH. Revisions in the microscopic method of estimating age at death in human cortical bone. *Am J Phys Anthropol.* 1978; 49:545-546.
- Kósa F, Castellana C. New forensic anthropological approachment for the age determination of human skeletons on base of morphometric of vertebral column. *Forensic Science International.* 2005; 147:569-574.
- Krause W. Skelet der Oberen und Unteren Extremitat. *Bardelebents Handbuch der Anatomie des Menschen*, Jena, Germany. 1909.
- Kreitner KF, Schweden FJ, Riepert, Nafe B, Thelen M. Bone age determination based on the study of the medial extremity of the clavicle. *Eur Radiol.* 1998; 8:1116-22.
- Kreitner KF, Schweden F, Schild HH, Riepert T, Nafe B. Computerized tomography of the epiphyseal union of the medial clavicle: an auxiliary method of age determination during adolescence and the 3rd decade of life?. *Rofo.* 1997; 166(6):481-486.
- Kreitner KF, Schweden FJ, Riepert T, Nafe B, Thelen M. Bone age determination based on the study of the medial extremity of the clavicle. *Eur Radiol.* 1998; 8:1116-1122.

- Krogman WM, Iscan MY. Human Skeleton in Forensic Medicine. Krogman WM, Iscan MY. 2nd edition. Charles C Thomas Publisher. 1986.
- Kulman L. Accuracy of two dental and one skeletal age estimation method in Swedish adolescents. For Sci Int, 1995; 75:225-236.
- Lamendin H, Baccino E, Humbert JF, Tavernier JC, Nossintchouk RM, Zerilli A. A simple technique for age estimation in adult corpses: The two criteria dental method. Journal of Forensic Sciences 1992; 37: 1373-1379.
- Lehtinen JT, Tingart MJ, Apreleva M, Warner JP. Total, trabecular, and cortical bone mineral density in different regions of the glenoid. J Shoulder and Elbow Surg. 2004; 13(3);344-348.
- Leopold D, Schaefer W. Röntgenologische Methoden zur Identifikation. En Leopold D (ed) Identifikation unbekannter Toter. Interdisziplinäre Methodik, forensische Osteologie. Schmidt-Roemhild, Lübeck, 1998; 289-325.
- Ley orgánica 4/2000. BOE núm 10.
- Ley Orgánica de Responsabilidad Penal del Menor. Artículo 3, Artículo 1 y Artículo 69. BOE núm 11, 2000.
- Loth SR, Iscan MY. Morphological assessment of age in the adult: The thoracic region. En MY Iscan (ed) Age markers in the human skeleton. Springfield, Charles C. Thomas, 1989; 105-135.
- Lovejoy CO. Dental wear in the Libben population: Its functional pattern and role in the determination of adult skeletal age at death. Amer. Jour. Phys. Anthrop. Amer. Jour. Phys. Anthrop. Anthropol. 1985; 68(10): 47-56.
- Mac Laughlin SM. Epiphyseal fusion at the sternal end of the clavicle in a modern Portuguese skeletal sample. Antropol Port. 1990; 8: 59-68.
- Macho GA, Berner ME. Enamel thickness and the helicoidal occlusal plane. 1994.

- Majó T. L'os coxal non adulte: approche méthodologique de la croissance et de la diagnose sexual. Application aux enfants du paléolithique moyen. Tesis Doctoral. Université de Bordeaux I. 2000.
- Mann EH, Sandhouse ME, Burg J, Fischer GH. Accumulation of D-aspartic acid with age in the human brains. *Science*. 1983; 220(4):1407-1408.
- Maples WR. Stage of epiphyseal union for thoracic and lumbar vertebral centra as a method of age determination for teenage and young adult skeletons. *J Forensic Sci*. 1995; 40: 623-633.
- Maresh MM. Linear growth of the long bones of extremities from infancy through adolescence. *Am J of Diseases of Children*. 1955; 89: 725-742.
- Masset C. Age estimation on the basis of cranial sutures. In Iscan MY (ed.), *age markers in the human skeleton* (pp. 71-104). Charles C. Thomas, Springfield, IL. 1989.
- Masters PM, Bada JL, Zigler JS. Aspartic acid racemization in the human lens during ageing and in cataract formation. *Nature*. 1977; 268(7):71-73.
- Mays S, Steele J, Ford M. Directional asymmetry in the human clavicle. *Int J Osteoarcheology*. 1999; 9(1):18-28.
- McKern TW, Stewart T.D. *Skeletal Age Changes in Young American Males*. Natick, MA: Quartermaster Research and Development Command, Technical Report EP. 45. 1957.
- Meindl RS, Lovejoy CO, Mensforth RP, Walker RA. A revised method of age determination using the os pubis, with a review and tests of accuracy of other current methods of pubic symphyseal aging. *American Journal of Physical Anthropology*. 1985; 68:29-45.

- Meindl RS, Lovejoy CO. Ectocranial suture closure: a revised method for the determination of skeletal age at death based on the lateral anterior sutures. *American Journal of Physical Anthropology*. 1985; 68:57-66.
- Meißner C, Von Wurmb N, Oehmichen M. Detection of the age-dependant 4977 bp deletion of mitochondrial DNA. A pilot study. *Int J Legal Medicine*. 1997; 110:288-291.
- Milenkovic P, Djukic K, Djonic D, Milovanovic P, Djuric M. Skeletal age estimation based on medial clavicle—a test of the method reliability. *Int J Legal Med*; 127:667-676.
- Miles A, Bulman JS. Growth curves of immature bones from Scottish island population of sixteenth to mid-nineteenth century: limb-bone diaphysis and some bones of the hand and foot. *International Journal of Osteoarchaeology*. 1994; 4: 121-136.
- Miles A, Bulman JS. Growth curves of immature bones from Scottish island population of sixteenth to mid-nineteenth century: shoulder, girdle, ilium, pubis and ischium. *International Journal of Osteoarchaeology*. 1995; 5: 15-27.
- Mincer HH, Harnis EF, Berryman HE. The ABFO study of third molar development and its use as estimator of chronological age. *J Forensic Sci*, 1993; 38 (2):379-390.
- Molnar S. Human tooth wear, tooth function and cultural variability. *American Journal of Physical Anthropology* 1971; 34(2): 175-89.
- Moorrees CFA, Fanning EA, Hunt EE. Age variation of formation stages for ten permanent teeth. *Journal of Dental Research*. 1963; 42, 1490-1502.
- Mühler M, Schulz R, Schmidt S, Schmeling A, Reisinger W. The influence of slice thickness on assessment of clavicle ossification in forensic age diagnostics. *Int J Leg Med*. 2006; 120(1):15-17.
- Murphy T. The changing pattern of dentine exposure in human tooth attrition. *Am. J. Phys. Anthropol*. 1959; 17(1):167-178.

- Nambiar P, Yaacob H, Menon R. Third molars in the establishment of adult status. Case report. *J Forensic Odonto-Stomatology*. 1996; 14(2): 30-33.
- Naylor JW, Miller GW, Stokes GN, Scott GG. Cemental annulation enhancement: a technique for age determination in man. *American Journal of Physical Anthropology* 1985; 68: 197-200.
- Nicholson GP, Goodman DA, Flatow EL, Bigliani LU. The acromion: Morphologic condition and age-related changes. A study of 420 scapulas. *J of Shoulder and Elbow Surg*. 1996; 5(1):1-11.
- Noback CR. Some gross structural and quantitative aspects of the development anatomy of the human embryonic, fetal and circumnatal skeleton. *Anatomical Record* 1943; 87: 29-51.
- O'Halloran RL, Lundy JK. Age and ossification of the hyoid bone: Forensic implications. *Journal of Forensic Sciences* 1987; 32: 1655-1659.
- O'Rahilly R, Gardner E. The initial appearance of ossification in staged human embryos. *Am J of anatomy*. 1996; 134: 291-308.
- Oettlé AC, Steyn M. Age estimation from sternal ends of ribs by phase analysis in South African Blacks. *Journal of Forensic Science*. 2000; 45:1071-1079.
- Ogata S, Uhtoff HK. The early development and ossification of the human clavicle. An embryologic study. *Acta Orthop Scand*. 1990; 61(4):330-334.
- Ohtani S, Ohhira H, Watanabe A, Ogasawara A, Sugimoto H. Estimation of age from teeth by amino acid racemization. Influence of fixative. *J Forensic Sci*. 1997; 42(1):137-139.
- Ohtsuki F. Development changes of the cranial bone thickness in the human fetal period. *Am J Physical Anthropology*. 1977; 46: 141-154.

- Ohtsuki F. Areal growth in the human fetal parietal bone. *Am J Physical Anthropology*. 1980; 53: 5-9.
- Olivier G, Pineau H. Nouvelle détermination de la taille foetale d'après les longueurs diaphysaires des os longs. *Annales de Médecine Légale*. 1960; 40: 141-144.
- Owings PA, Suchey JM. Epiphyseal union of anterior iliac crest and medial clavicle in a modern multiracial sample of American males and females. *American Journal of Physical Anthropology*. 1985; 68: 457-466.
- Owings Webb PA, Suchey JM. Epiphyseal union of the anterior iliac crest and medial clavicle in a modern multiracial sample of American males and females. *Am J Phys Anthropol*. 1985; 68:457-466.
- Parfitt AM, Mathews CH, Villanueva AR, Kleerekoper M, Frame B, Rao DS. Relationships between surface, volume, and thickness of iliac trabecular bone in aging and in osteoporosis. Implications for the microanatomic and cellular mechanism of bone loss. *J Clin Invest* 1983; 72(4):1396–1409.
- Parsons FG. On proportions and characteristics of the modern English clavicle. *J Anat Lond*. 1916; 51:71-93.
- Paterson RS. Radiographic investigation of the epiphyses of the long bones. *J Anat*. 1929; 64:28-46.
- Pietschmann P, Rauner M, Sipos W, Kersch-Schindl K. Osteoporosis: an age-related and gender-specific disease—a minireview. *Gerontology*. 2009; 55(1):3–12.
- Poirier, P. Osteologie. In: *Traité d'anatomie humaine* (new ed.), Paris. 1911.
- Prieto JL, Barbería E, Ortega R, Magaña C. Evaluation of chronological age based on third molar development in the Spanish population. *Int J Leg Med*. 2005; 119:349-54.
- Prieto JL. La Antropología Forense en España desde la perspectiva de la medicina forense. *Cuad. Med. Forense* 2008; 53-54.

- Prince DA & DH Ubelaker. Application of Lamendin's adult ageing technique to a diverse skeletal population. *J Forensic Sci.* 1999; 44: 239-240.
- Pryor JW. Chronology and order of ossification of the bones of the human carpus: x-ray method. *Bull State Coll Kentucky.* 1908; 1.
- Quirmbach F, Ramsthaler F, Verhoff MA. Evaluation of the ossification of the medial clavicular epiphysis with a digital ultrasound system to determine the age threshold of 21 years. In *J Leg Med.* 2009; 123:241-245.
- Recomendaciones sobre métodos de diagnóstico forense de la edad de menores indocumentados en el entorno judicial.
- Reverte Coma JM. *Antropología forense.* Madrid: Ministerio de Justicia, Secretaría General Técnica, Centro de Publicaciones; 1991.
- Richards MP, Mays S, Fuller BT. Stable carbon and nitrogen isotope values of bone and teeth reflect weaning age at the medieval Wharram Percy site, Yorkshire, UK. *Am J Phys Anthropol.* 2002; 119:205-210.
- Richel S. Der Stellenwert verschiedener röntgenologischer kriterien in der Panoramaschichtaufnahme sowie der medialen Claviculaepiphyse im rahmen von Altersbestimmugen. Dissertation. Universität Hamburg. 2005.
- Rissech C, Black S. Scapular development from neonatal period to skeletal maturity. A preliminary study. *International Journal of Osteoarchaeology.* 2007; 17: 451-464.
- Rissech C, López-Costas O, Turbón D. Humeral development from neonatal period to skeletal maturity—application in age and sex assessment. *Int J Legal Med.* 2013; 127(1):201-12.
- Rissech C, Malgosa A. El crecimiento del Fémur en una muestra de Europa occidental documentada. Congreso de la sociedad Española de Antropología. 2005.

- Rissech C, Malgosa A. Ilium growth study: applicability in sex and age diagnosis. *Forensic Sci Int.* 2005; 147: 165-174.
 - Rissech C, Schaefer M, Malgosa A. Development of the femur-implications for age and sex determination. *Forensic Sci Int.* 2008; 180: 1-9.
 - Rissech C. Estimación de la edad biológica de los restos subadultos. In: Enterramientos infantiles a lo largo de la historia. Una visión arqueológica, antropológica y simbólica. Gusi F y Muriel S (eds). Castelló: Servei' Investigacions Arqueològiques i Prehistòriques. Diputació de Castelló. pp. 77-92. 2008.
- Rizt-Timme S, Schütz HW, Pepper C. Postmortem estimation of age at death based on aspartic acid racemization in dentin: its applicability for root dentin. *Int J Leg Med.* 1993; 105:289-293.
- Rizt-Timme S, Turzynski A, Schütz HW. Estimation of age at death based on aspartic acid rcemization in non-collagenous bone proteins. *Forensic Sci Int.* 1994; 69:149-159.
 - Robledo, MM. Estudio de la extremidad costosternal para la estimación de la edad. *Gac. Int. Cienc. Forense.* 2014. 10 Ene-Mar: 29-37.
 - Rodríguez JV. La antropología forense en la identificación humana. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 2004.
 - Rouviere H. y Delmas A. Anatomía Humana. Descriptiva, Topográfica y Funcional, Ed. Masson, Barcelona, 10ª Edición, 1999.
 - Sajdok J, Pilin A, Pudil F, Zídková J, Kás J. A new method of age estimation based on the changes in human non-collagenous proteins from dentin. *Forensic Sci Int.* 2006; 156:245-249.
 - Sangiampong A, Chompoopong S, Sangvichien S, Thongtong P, Wongjittraporn S. The acromial morphology of thais in relation to gender and age: study in scapular dried bone. *J Med Assoc Thai.* 2007; vol 90. N3.

- Schaefer MC, Black S. Comparison of ages of epiphyseal union in North American and Bosnian skeletal material. *Journal of Forensic Sciences*. 2005; 50: 8.
- Schaefer MC, Black SM. Comparison of ages of epiphyseal union in North American and Bosnian skeletal material. *J Forensic Sci*. 2005; 50(4).
- Scheuer L, Black S. *Development juvenile osteology*. London, Academic Press. 2000.
- Scheuer L, McLaughlin-Black S. Age estimation from the pars basilaris of the fetal and juvenile occipital bone. *Int J of Osteoarchaeology*. 1994; 4: 377-380.
- Scheuer L, Musgrave JH, Evans SP. The estimation of late and perinatal age from limb bone length by linear and logarithmic regression. *Annals of Human Biology*. 1980; 7: 257-265.
- Schmeling A, Grundmann C, Fuhrmann A, Kaatsch HJ, Knell B, Ramsthaler F, Reisinger W, Riepert T, Ritz-Timme S, Rösing FW, Röttscher K, Geserick G. Criteria for age estimation in living individuals. *Int J Legal Med* 2008; 122:457-460.
- Schmeling A, Schultz R, Reisinger W, Mühler M, Wernecke KD, Geserick G. Studies on the time frame for ossification of the medial clavicular epiphyseal cartilage in conventional radiography. *Int J Leg Med*. 2004; 118:5-8.
- Schmitt W, Lehmann TM. *Radiología digital*. Quintessence (Ed. Esp.). 2004; 17(3):185-195.
- Schour I, Massler M. The development of the human dentition. *Journal of the American Dental Association*. 1941; 28:1153:1160.
- Schranz D. Age Determination from the Internal Structure of the Humerus. *American Journal of Physical Anthropology*, 1959; 17: 273-278.
- Schulz R, Mühler M, Mutze S, Schmidt S, Reisinger W, Schmeling A. Studies on the time frame for ossification of the medial epiphyses of the clavicle as revealed by CT scans. *Int J Leg Med*. 2005; 119(3):142-145.

- Schulz R, Schiborr M, Pfeiffer H, Schmidt S, Schmeling A. Sonographic assessment of the ossification of the medial clavicular epiphysis in 616 individuals. *Forensic Sci Med Pathol.* 2013; 9(3):351-357.
- Schulz R, Zwiesigk P, Schiborr M, Schmidt S, Schmeling A. Ultrasound studies on the time course of clavicular ossification. *Int J Leg Med.* 2008; 122:163-167.
- Scott EC. Principal axis analysis of dental attrition data. *American Journal of Physical Anthropology* 1979b; 51: 203-212.
- Sidhom G, Derry DE. Dates of union of some epiphyses in Egyptians from xray photographs. *J Anat.* 1931; 65:196-211.
- Sidhom G, Derry DE. Dates of union of some epiphyses in Egyptians from xray photographs. *J anat.* 1931; 65:196-211.
- Singer R. Estimation of age cranial suture closure. A report of its unreliability. *J Forensic Medicine (S.Afr.).* 1953; 1:52-59.
- Singh D, Indrajit, Sanjeev. Time of fusion of mesosternum with manubrium and xiphoid process. *J Anat Soc India.* 1994; 43:125-35.
- Singh J, Chavali KH. Age estimation from clavicular epiphyseal union sequencing in a Northwest Indian population of the Chandigarh region. *J Forensic Leg Med.* 2011; 18(2):82-87.
- Singh J, Pathak RK. Sex and age related non-metric variation of the human sternum in a Northwest Indian postmortem sample: a pilot study. *Forensic Sci. Int.* 2013b; 228(1-3):181.e1-12.
- Skinner HA, The origin of medical terms. 2nd edition. Baltimore. MD: Williams and Wilkins. 1961.

- Smith BH. Standards of human tooth formation and dental age assessment. En Kelley MA & Larsen CS (eds) *Advances in dental anthropology*, New York, Wiley-Liss, Inc.1991; pp 143-168.
- Snow CC. Equations for estimation age ath death from the pubic symphysis: A modification of the McKern and Stewart methods. *J. Forensic Sci.* 1983; 28:864-870.
- Solari AC, Abramovitch K. The accuracy and precision of third molar development as indicator of chronological age in Hispanics. *J Forensic Sci*, 2002; 47(3): 531-535.
- Spalding KL, Buchholz BA, Bergman LE, Druid H, Firsen J. Age written in teeth by nuclear tests. *Nature*. 2005; 437:333-334.
- Stevenson PH. Age order of epiphyseal union in man. *American Journal of Physical Anthropology*. 1924; 7: 53-93.
- Stevenson, Paul H. Age order of Epiphyseal Union in Man. *Am. J. Phys. Anthropol.*1924; 7:53-93.
- Stewart TD. The rate of development of vertebral osteoarthritis in American whites and its significance in skeletal age identification. *The Leech*. 1958; 28:144-151.
- Stewart TD. *Essentials of Forensic Anthropology*. Springfield, IL: Charles C. Thomas. 1979.
- Stout SD, Paine RR. Brief communication: histological age estimation using rib and clavicle. *Am J Phys Anthropol*. 1992; Jan;87(1):111-115.
- Streeter GL. Developmental horizons in human embryos. Description of the age group XI, 13 to 20 somites and age group XII, 21 to 29 somites. *Contributions to Embriology*. 1942; 30:211-245.
- Study Group of Forensic Age Estimation of the German Association if Forensic Medicine. Guidelines for age estimation in living individuals in criminal proceedings. 2001.

- Szilvassy J. Estimation of age by the sternal articular surfaces of the clavicle. *Beitr Gerichrtl Med.* 1977; 35:343-345.
- Tanner JM, Whitehouse RH, Cameron N, Marshall WA, Healy M, Goldstein H. *Assessment of skeletal maturity and prediction of adult height (TW2)*. London Academy Press, 1983 (2nd edition).
- Tanner JM. *Growth at adolescence*. Oxford Blackwell Scientific Publications. 1962.
- Terry RJ. The clavicle of the American Negro. *Am J Phys Anthropol.* 1932; 16:351-380.
- Terry, R.J. Osteology. In: *Morris' Human Anatomy*, 8th ed. Philadelphia. 1942.
- Testut L. *Traité d'anatomie humaine. Angéiologie, livre IV*. Paris: Ed.Gaston Doin. 1921.
- Thompson, A. Osteology. In: *Cunningham's Text-Book of Anatomy*. 7th ed., New York. 1937.
- Thompson DD, Gunness-Hey M. Bone mineral osteon analysis of Yupik-Inupia skeletons. *Am J Phys Anthropol.* 1981;55:1-7.
- Todd TW, D'Errico J J. The clavicular epiphyses. *Am J Anat.* 1928; 4:25-50.
- Todd TW, D'Errico J. The clavicular epiphysis. *Americian Journal of Anatomy*. 4: 25-50. 1928.
- Todd TW, Lyon DW. Cranial suture closure, its progress and age relationship: part II. Ectocranial suture closure in adult males of the white stock. *Am J Phys Anthropol.* 1925; 8:23-45.
- Todd TW. Age changes in the pubic bone I: the males White pubis. *American Journal of Physical Anthropology*. 1920; 3:285-334.
- Todd TW. Age changes in the pubic bone II-IV: the pubis of the male Negro-White hybrid, the pubis of the White females, the pubis of the female Negro-White hybrid. *American Journal of Physical Anthropology*. 1921; 4:1-70.

- Todd TW, Lyon DW. Endocranial suture closure, its progress and age relationship: part I. Adult males of the white stock. *American Journal of Physical Anthropology*. 1924; 7:325-384.
- Trotter M. Synostosis between manubrium and body of the sternum in whites and negroes. *Am J Phys Anthropol*. 1934; 18(3):439-442.
- Ubelaker DH, Buchholz BA, Stewart JEB. Analysis of artificial radiocarbon in different skeletal and dental tissue types to evaluate date of death. *J Forensic Sci*. 2006; 51(3):484-488.
- Ubelaker DH. Human skeletal remains. Excavation, analysis, interpretation. Chicago Aldine. 1978.
- Ubelaker DH. Human Skeletal Remains: Excavation, Analysis, Interpretation. Second Edition, XI +172 pages. Washington, D.C.: Taraxacum. 1989.
- Van der Linden F, Duterloo HS. The development of the human dentition-an atlas. Hagerstown MD: Harper and Row. 1976.
- Van der Stelt PF. Principios de la imagen digital. Clínicas Odontológicas de Norteamérica. Aplicaciones de las distintas modalidades de radiología digital en odontología. 2000; 2:255-267.
- Van Zalen-Sprock M, Brons JTT, Van Vugt JMG, Van der Harten HJ, Van Geijn HP. Ultrasonographic and radiologic visualization of the developing embryonic skeleton. *Ultrasound in Obstetrics & Gynecology*. 1997; 9(6):392-397.
- Vasquez P. Evaluación del método de estimación de edad por la 4º costilla derecha en población masculina chilena. Tesis Doctoral. Universidad de Chile. 2001.

- Veschi S, Facchini F. Recherches sur la collection d'enfants et d'adolescents d'âge et de sexe connus de Bologne (Italie): diagnose de l'âge sur la base du degré de maturation osseuse. Bull Mem Soc Anthropol. Paria, 2002; 14(3-4):314-317.
- Smith-Agreda V, Ferres E, Montesinos M. Atlas-tratado de embriogénesis y organogénesis. Valencia: Gregori, D.L. 1986.
- Vlcek E. Estimation of age from skeleton material based on the degree of thyroid cartilage ossification. Sound Lek 1980; 25: 6-11.
- Wadhawan M, Murari A, Murali G. Estimation of age from the fusion of mesosternum with manubrium and xiphisternum in Delhi: a comparative study. J Indian Acad Forensic Med. 2009; 31(2):103-106.
- Walker RA, Lovejoy CO. Radiographic changes in the clavicle and proximal femur and their use in the determination of skeletal age at death. Am J Phys Anthropol. 1985; 68(1):67-78.
- Weaver DS. Application of the likelihood ratio test to age estimation using the infant and child temporal bone. Am J Physical Anthropology, 1979; 50: 263-270.
- Webb PA, Suchey JM. Epiphyseal union of the anterior iliac crest and medial clavicle in a modern multiracial sample of American males and females. Am J Phys Anthropol. 1985; 68(4):457-466.
- West JB. Fisiología Respiratoria. Ed. Panamericana, 7ª Edición. 2005.
- Willems G, Van Olmen A, Spiessens B et alli. Dental age estimation in Belgian Children: Dermijian's technique revisited. J Forensic Sci, 2001; 46(4):893-895.
- Williams PL, Bannister LH, Berry MM, Collins P, Dyson M, Dussek JE, . Ferguson RWJ. Anatomía de Gray. Bases Anatómicas de la Medicina y la Cirugía, Ed. Churchill Livingstone-Harcourt Brace, Madrid, 38ª Edición, 1998.

- Yarkoni S, Schmidt W, Jeanty P, Reece EA, Hobbins JC. Clavicular measurements: a new biometric parameter for fetal evaluation. J Ultrasound Med. 1985; 4: 467-470.
- Yavuz MF, Ican MY, Cöloglu AS. Age assessment by rib phase analysis in Turks. Forensic Sci Int. 1998; Nov 30, 98(1-2):47-54.
- Yoder C, Ubelaker DH, Powel JF. Examination of variation in sternal rib end morphology relevant to age assessment. Journal of forensic Science. 2001; 46(2):223-227.
- Zoubov AA. Otontología. Metodica de las investigaciones antropológicas. Nauka, Moscú. 1968.

16. ANEXO I

PROPUESTA DIDÁCTICA

ESTIMACIÓN DE LA MAYORÍA DE EDAD LEGAL MEDIANTE EL CIERRE DE LOS CARTÍLAGOS METAFISARIOS DEL HÚMERO Y LA CLAVÍCULA, UTILIZANDO MÉTODOS ECOGRÁFICOS

OBJETIVOS DEL PROYECTO

El Laboratorio de Antropología Forense y Criminalística de La Universidad Complutense de Madrid se encuentra actualmente realizando un Proyecto de Investigación que tiene como nombre “Proyecto US 18. Estimación de la mayoría de edad legal mediante el cierre de los cartílagos metafisarios del húmero y la clavícula, utilizando métodos ecográficos”.

Este proyecto tiene por finalidad la elaboración de un atlas de imágenes ecográficas que permita discernir entre grupos de edad próximos a los 18 años (mayoría de edad legal en España) de tal forma que, gracias a esto, se pueda llegar a la estimación de la edad de dichos individuos en casos de interés judicial.











El trabajo que se está llevando a cabo actualmente en el Laboratorio de Antropología Forense y Criminalística consiste en la realización de una base de datos de imágenes ecográficas en dos partes del cuerpo: epífisis proximal del húmero y epífisis esternal de la clavícula. El proceso consiste en la toma de una serie de imágenes por el método de la ecografía, siendo éste un método totalmente inocuo e indoloro.

Para poder discernir entre grupos se pedirán, además de la toma de imágenes, los datos de sexo y edad de los participantes. Todos los datos obtenidos, así como las imágenes, cumpliendo rigurosamente con la Ley Orgánica de Protección de Datos Personales, serán de carácter anónimo y sólo se podrá hacer uso de ellos en dicho proyecto.

VISITA AL LABORATORIO DE ANTROPOLOGÍA FORENSE Y CRIMINALÍSTICA DE LA UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID.

Los alumnos que de forma voluntaria hayan aceptado colaborar con el proyecto deberán presentarse a las 10:00h en la puerta principal de la Facultad de Medicina de la

Una vez allí, se les entregará a los alumnos el material didáctico necesario y se impartirá una breve charla, de 30 minutos aproximadamente, a cerca del interés de la Antropología Forense, la Criminalística y la Medicina Legal. Tras la breve introducción, se dividirá la clase en tres grupos equitativos de alumnos y se realizarán tres ejercicios prácticos rotatorios, cada uno de ellos de 60 minutos aproximadamente.

Ficha Decadactilar:		Fecha de toma:					
Nombre:	Apellido (F)	SECCIÓN	Clasificación				
Empuñadura			PULGAR	INDICE	MEDIO	ANULAR	MEÑIQUE
							
							

La tercera parte de la práctica consistirá en la participación de los alumnos en el Proyecto de Investigación US 18. Para ello, cada grupo accederá a la sala de exploración donde se encuentra ubicado el equipo de ultrasonido.



Allí, se realizará la toma de datos de forma individualizada y anónima, así como la toma de imágenes por ecografía; para la recogida de estos datos, la persona sólo tendrá que sentarse en un sillón y relajarse, mientras un miembro del equipo toma las medidas en los doce puntos que se están utilizando para este estudio (tres imágenes en cada punto: radio, tibia, primer metacarpiano y clavícula).

La duración de todo el proceso es de aproximadamente 5 minutos por persona y no constituye ningún riesgo, ya que como se ha citado antes, la ecografía es un método no invasivo que no produce ningún daño al voluntario.

La parte práctica de la visita al Laboratorio de Antropología Forense y Criminalística se extenderá unas 2 horas aproximadamente y, en cada fase del proceso, los alumnos estarán acompañados por un miembro del equipo de investigación que les apoyará y explicará la práctica a realizar.

Una vez finalizado el proceso, se realizará una visita al Museo de Antropología Médica y Forense, Paleopatología y Criminalística “Profesor Reverte Coma”, que se encuentra en el mismo departamento y que, recientemente, ha sido reinaugurado. La visita será guiada por uno o varios miembros del equipo de investigación y durará en torno a 1 hora.



Al final de la visita, se dará una breve charla de clausura y habrá un turno de preguntas para resolver cualquier duda que haya quedado pendiente a lo largo del recorrido.

Por último los alumnos serán acompañados de nuevo a la puerta principal de la Facultad de Medicina de la Universidad Complutense de Madrid, donde se realizó el encuentro al inicio del proceso.

17. ANEXO II

CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA LA TOMA Y REGISTRO DE DATOS
ANTROPOMÉTRICOS CORPORALES MEDIANTE ECOGRAFÍA

La toma de datos antropométricos mediante ecografía consiste en la medición del cierre de las epífisis en diferentes puntos de cuerpo (clavícula y húmero). Este procedimiento dura en torno a unos 5 minutos y no conlleva ningún tipo de radiación, ni riesgo para la persona que se preste voluntaria a dicha medición. Por esta razón, la legislación vigente exime de la necesidad de la aprobación de este Proyecto de Investigación por el Comité de Bioética ya que no implica intervención directa de los pacientes, ni requiere el uso de una técnica invasiva.

Todos los datos ecográficos obtenidos se incorporarán a un fichero en el que no constarán los datos personales de los voluntarios que colaboren en este estudio.

Las ecografías únicamente serán empleadas para el estudio (y sólo manipuladas y estudiadas por los investigadores participantes de este proyecto de investigación). En ningún caso serán estudiadas por personal ajeno al proyecto, expuestas o publicadas en ningún trabajo externo (científico o no).

Yo, _____
_he sido informado/a de los objetivos del trabajo y de que mis datos no serán utilizados en ningún trabajo de proyección pública, por lo tanto acepto voluntariamente que me sean tomadas medidas antropométricas corporales para el proyecto de investigación “ESTIMACIÓN DE LA MAYORÍA DE EDAD LEGAL EN ESPAÑA A TRAVÉS DEL ESTUDIO DE LA FUSIÓN DE LAS EPÍFISIS MEDIAL DE LA CLAVÍCULA Y PROXIMAL DEL HÚMERO, APLICANDO TÉCNICAS DE ULTRASONIDO”.

(En caso de que el voluntario/a sea menor de edad, el consentimiento deberá ir firmado por el padre/madre/tutor del mismo).

Firmado,

Nombre y fecha

18. ANEXO III

PUBLICACIONES CIENTÍFICAS RELACIONADAS CON ESTE ESTUDIO

“Age at death estimation based on radiological and image analysis methods in clavicle in a current Spanish population”.Int J Legal Med. (2014) DOI 10.1007/s00414-014-0989-x.

“Estimación de la edad mediante métodos radiológicos y de análisis de imagen en esternón y escápula”. Cuad. Med. Forense. (2013) 19 (3-4): 87-94.

“PROYECTO US 18. Metodología para la estimación de la mayoría de edad legal mediante el cierre de los cartílagos metafisarios del radio, clavícula, tibia y primer metacarpiano, utilizando métodos ecográficos”. COMUNICACIÓN ORAL. AEAOF. Verín, España (2013).

“Estudio para la estimación de la edad a través de métodos radiográficos y de análisis de imagen en escápula y esternón”.COMUNICACIÓN ORAL. AEAOF. Instituto de Toxicología y Ciencias Forenses. Las Rozas, Madrid (2012).

“Estudio para la estimación de la edad a través de métodos radiográficos y de análisis de imagen en clavícula”. COMUNICACIÓN ORAL. AEAOF. Madrid (2011).

Age-at-death estimation based on radiological and image analysis methods in clavicle in a current Spanish population

María Benito, José Antonio Sánchez & Sónia Codinha

International Journal of Legal Medicine

ISSN 0937-9827

Int J Legal Med

DOI 10.1007/s00414-014-0989-x



Estimación de la edad en adultos mediante métodos radiológicos y de análisis de imagen en el esternón y la escápula

Radiological and image analysis study to estimate the age in sternum and scapula of adult population

M. Benito Sánchez¹
JA. Sánchez Sánchez²

¹Estudiante de Doctorado.
Escuela de Medicina
Legal y Forense.
Departamento de
Toxicología y Legislación
Sanitaria
²Doctor en Medicina
y Cirugía.
Escuela de Medicina
Legal y Forense. Director
del Departamento de
Toxicología y Legislación
Sanitaria

Correspondencia:
María Benito Sánchez
E-mail:
m.benito.sanchez@gmail.com

Fecha de recepción:
24. ABR. 2013

Fecha de aceptación:
05. DIC. 2013

Resumen

Actualmente, los estudios para estimar la edad en sujetos adultos no ofrecen buenos resultados en el estudio antropológico forense. Por esta razón, se hace necesaria la creación de nuevos métodos que ayuden a solventar este problema. El presente estudio se ha realizado en una muestra de 226 escápulas y 98 esternones, de individuos de sexo y edad conocidos, de población española actual, que han sido radiografiados y digitalizados, de manera estandarizada. Sobre las radiografías se han calculado los valores de densidad de gris, en una superficie de 1 cm², en la cavidad glenoidea y el acromion de la escápula, así como en el manubrio y el cuerpo del esternón, utilizando el programa Image J. Los resultados obtenidos, utilizando el programa estadístico SPSS 15.0, muestran que la variable que mejor actúa como predictora de la edad es la media de gris en el manubrio del esternón, que aporta un 63% de información en mujeres y un 56% en varones, por sí sola. La combinación de ésta con las otras tres variables aumenta no significativamente el porcentaje, llegando a alcanzar gracias a la suma de las cuatro variables un 69% en el caso femenino y un 64% en el masculino.

Palabras clave: Antropología forense. Densidad de gris. Manubrio. Rayos X.

Abstract

Nowadays, the studies to estimate the age in adult individuals do not give reliable information to forensic anthropology cases. For this reason, it is necessary to research in this area improving the current methods or designing new ones. The present study has been carried out using 226 scapulas and 98 sternums from current Spanish population individuals of known age and sex, which have been submitted to a standardized process of x-ray and digitalization. On the x-rays plaques, the medium grey values have been obtained, using Image J software, in a 1cm² of surface, in the glenoid cavity and acromion of the scapula, and in the manubrium and body of the sternum. The results calculated using the statistical software SPSS 15.0 have shown the best variable to predict the age in adult individuals has been the medium grey value in the manubrium of the sternum. It has given, for itself, a 63% of information in females and a 56% in males. The combination with the other three variables has not improved the percentage of reliability because it has only increased until a 69% in females and 64% in males.

Key words: Forensic anthropology. Grey density. Manubrium. X rays.

Introducción

La identificación de un sujeto es la culminación de un proceso sistemático y metodológico, basado en el estudio métrico y morfológico, para estimar la edad, el sexo, el grupo poblacional, la estatura, variantes de la normalidad, el tiempo transcurrido desde la muerte y las circunstancias que pudieran derivarse de

ésta, tanto de individuos vivos como de restos óseos y cadáveres en diferentes estados de conservación.

La estimación de la edad es fundamental para poder llegar a la identificación de un sujeto¹. Su estudio se basa en la observación de los rasgos morfológicos que ocurren en el esqueleto de un individuo con el paso del tiempo y la posterior comparación de esta información con los datos obtenidos de estudios so-

bre poblaciones de referencia de edades conocidas, teniendo en cuenta cualquier fuente de variabilidad, como pueden ser el grupo poblacional o el sexo del individuo, que pueda haber entre la población en duda a la que pertenece dicho sujeto y la población de comparación que se utiliza en el estudio²⁻⁵.

No es lo mismo abordar la estimación de la edad si los restos son de no adultos o de individuos adultos. Los métodos que se utilizan para establecer la edad en adultos, en general, no presentan una buena correlación con la edad biológica de los individuos²⁻⁴. La mayoría de los trabajos concluyen que la estimación de la edad es más fiable en adultos jóvenes que cercanos a la senectud, cuando se reducen mucho las probabilidades de acierto.

Para la observación de los cambios morfológicos se han empleado diferentes técnicas⁵⁻¹⁰, y una de ellas es la radiología. En esta línea, hay estudios para estimar la edad en individuos adultos bastante relevantes sobre variaciones morfológicas, en el miembro proximal del fémur y el húmero⁵, de la clavícula⁷, del tórax^{8,9} y del pubis¹⁰.

En relación con el esternón, existen varios trabajos que utilizan la radiología¹¹⁻¹⁴ y se basan en los cambios degenerativos que sufre este hueso con el paso del tiempo, como el proceso de fusión entre cada una de sus partes¹¹⁻¹⁸.

En el caso de la escápula, aunque se han publicado menos trabajos ocurre lo mismo: hay investigaciones que, tanto por radiología^{19,20} como por su aspecto macroscópico¹⁹⁻²⁵, relacionan las modificaciones que ocurren en las diferentes estructuras anatómicas y en el sistema trabecular y las correlacionan con los diferentes grupos de edad en individuos adultos.

Además, desde hace tiempo se han realizado investigaciones sobre la relación inversa entre la pérdida de materia ósea y el grosor de la cortical de los huesos con el aumento de la edad. En esta línea existen investigaciones, realizadas utilizando la radiología^{5,7-10,19}, que proporcionan resultados dispares, ya que algunas sustentan una buena relación^{5,7,8,10,19} y otras afirman que el método no es válido para predecir la edad en sujetos adultos⁹. Esta controversia es la justificación del presente trabajo de investigación.

La cintura escapular en general, y el esternón y las escápulas en concreto, forman parte de un sistema esquelético que no soporta grandes cargas biomecánicas²⁷ que puedan generar una pérdida de materia ósea que no se deba al aumento de la edad en los diferentes individuos. Por ello se han elegido dichos huesos como muestra para la realización de este estudio, cuyos objetivos son:

- Realizar un estudio de análisis de imagen, en radiografías de esternón, para obtener los valores de gris medio de una superficie de área conocida, en el manubrio y en el cuerpo del esternón de individuos adultos, para posteriormente intentar establecer, realizando un estudio estadístico, una correlación con la edad.
- Realizar un estudio de análisis de imagen, en radiografías de escápulas, para establecer una correlación, mediante un análisis estadístico, entre los valores medios de gris, medidos en una superficie de área conocida en la cavidad glenoidea y el acromion de la escápula, y la edad de los sujetos adultos.
- Relacionar las variables de medidas de densidad de gris entre ellas y someterlas a un estudio estadístico para conocer cuáles aportan más información al estudio de la edad.
- Comparar los resultados obtenidos en este trabajo con los aportados por otros estudios realizados para estimar la edad en adultos tanto en el esternón como en la escápula.

Material y métodos

Para la elaboración de este trabajo se han utilizado esternones y escápulas de individuos adultos, de entre 20 y 93 años de edad, de sexo y edad conocidos, de la colección de población española actual de la Escuela de Medicina Legal de Madrid. De todos los individuos de la colección se han seleccionado sólo los que no presentaban patologías ni alteraciones en los huesos que pudieran interferir en el estudio. En total se han incluido 226 escápulas y 98 esternones.

Los 98 esternones se dividen, en cuanto al sexo, en 51 hombres y 47 mujeres. Por su parte, de las 226 escápulas, 124 pertenecen a hombres, de las cuales 72 son derechas y 52 izquierdas, y 102 a mujeres, de las que 45 son derechas y 57 izquierdas.

Las radiografías se han realizado con un generador de rayos X SEDECAL, modelo SHF 415, utilizando una pantalla MEDIUM y películas de la marca SAKURA, empleando siempre los mismos datos de manera estándar. Los parámetros usados para obtener las radiografías de las escápulas fueron 47 kilovoltios, 200 miliamperios, 0,02 segundos de exposición y 120 centímetros de distancia foco-película; por su parte, los usados para las radiografías del esternón fueron 43 kilovoltios, 200 miliamperios, 0,02 segundos de exposición y 120 centímetros de distancia foco-película. De esta forma se obtuvieron las películas de rayos X que posteriormente fueron

digitalizadas mediante un escáner de radiografías EPSON Expression 1640 XL, y transformadas en imágenes en formato JPG.

Una vez obtenidas las imágenes se creó una base de datos de radiografías y fotografías de todos los esternones y las escápulas, clasificados por su número de individuo dentro de la colección, por el sexo y por la lateralidad en el caso de las escápulas.

Para poder obtener los valores medios de gris en las radiografías del estudio se ha utilizado el programa Image J, versión 1.34, que permite discernir entre los colores blanco y negro absoluto, ya que usa una escala de grises de 256 niveles en imágenes de 16 bits y, por tanto, pueden asignarse valores dependiendo del color, de modo que se asigna al blanco un valor de 255 y al negro absoluto un valor de 0.

En cada radiografía se han medido los valores medios de gris, la desviación típica y el mínimo y el máximo de una sección cuadrada de área conocida (de 1 cm²), que ha sido la misma en todas las imágenes.

Con el fin de establecer un punto de referencia donde realizar las medidas, se ha establecido, para la escápula, en la cavidad glenoidea justo en el punto medio de una recta trazada entre los dos extremos a 3 milímetros de la articulación, y en el acromion, a 1 centímetro de la parte más lateral; para el esternón, en el cuerpo, justo en el corte entre las dos rectas perpendiculares que siguen el eje longitudinal y transversal a nivel del primer tercio del cuerpo, y en el manubrio donde se cruzan las diagonales que

unen los extremos más mediales de las articulaciones esternoclaviculares con los puntos más laterales de la articulación entre el manubrio y el cuerpo del esternón. Los puntos de referencia se muestran en la Figura 1.

Utilizando los métodos anteriormente descritos se han obtenido 452 medidas en la escápula y 196 en el esternón. Con estos datos se ha realizado un estudio descriptivo y un análisis estadístico utilizando el programa estadístico SPSS versión 15.0.

Para el estudio descriptivo se han tenido en cuenta la media, la desviación típica y el número de individuos basándose en la edad y en las cuatro variables de estudio: media de gris en la cavidad glenoidea, media de gris en el acromion, media de gris en el manubrio y media de gris en el cuerpo del esternón.

Para el análisis estadístico se ha realizado, en primer lugar, una prueba t de Student para muestras independientes con el fin de comprobar si hay diferencias entre las medias de hombres y mujeres, tanto en la escápula como en el esternón. En segundo lugar, se ha realizado una prueba t de Student para muestras relacionadas con el fin de observar si hay diferencias significativas entre las escápulas izquierdas y derechas. Posteriormente se han realizado análisis de correlación de Pearson y de regresión para averiguar qué variables aportan más información al estudio de la edad. Para conocer la fiabilidad del método se ha establecido un nivel de confianza del 95%.

Resultados

Los resultados de la prueba t de Student para muestras independientes indican que hay diferencias significativas en las variables media de gris en el cuerpo y el manubrio del esternón, ya que los resultados de significación son inferiores a 0,05. Por esta razón, el resto de los análisis estadísticos se realizan teniendo en cuenta la segmentación de la muestra en sexos.

Para el caso de la lateralidad, los resultados de la prueba t de Student para muestras relacionadas predicen que no hay diferencias significativas entre las escápulas derechas e izquierdas, ya que todos los valores de significación son superiores a 0,05. Gracias a estos resultados se ha decidido no segmentar la muestra en escápulas izquierdas y derechas, pues no hay diferencias. Los resultados de las pruebas t de Student se muestran en la Tabla 1.

El análisis de correlación se ha realizado con la muestra segmentada por sexo. En la Tabla 2 se observan

Figura 1.

Metodología y puntos de referencia para la obtención de los valores medios de gris en la escápula y el esternón.



Variables	T de Student para muestras independientes				T de Student para muestras relacionadas				
	T	p	DT	E	X (D-I)	DT	E	T	p
Acromion	1,06	0,19	2,39	2,07	3,42	12,08	1,69	1,88	0,06
Cuello	-0,84	0,32	-1,58	1,61	-4,23	9,60	1,54	-2,76	0,18
Manubrio	2,67	0,00	0,03	0,01	0,00	0,11	0,01	-0,41	0,66
Cuerpo	1,62	0,04	0,04	0,02	0,02	0,15	0,02	1,01	0,29

Tabla 1.
Resultados de las pruebas t de Student para muestras relacionadas (lateralidad) y para muestras independientes (sexo).

Sexo	Edad	Correlación de Pearson	Variables			
			Manubrio	Cuerpo	Acromion	Cuello
Mujeres	Edad	Correlación de Pearson	-0,619	-0,549	-0,438	-0,376
		Signif. (bilateral)	0	0	0	0
		N	47	47	102	102
Hombres	Edad	Correlación de Pearson	-0,668	-0,625	-0,493	-0,368
		Signif. (bilateral)	0	0	0	0
		N	51	51	124	124

Tabla 2.
Resultados del estudio de correlación de Pearson entre las cuatro variables de estudio y la edad en ambos sexos.

los resultados y se aprecia que todas las variables presentan correlaciones negativas, o lo que es lo mismo, que la edad de los individuos disminuye a la vez que los valores en éstas aumentan. Además, tanto en el caso de los hombres como en el de las mujeres, la variable que mejor se correlaciona con la edad es la media de gris en el manubrio del esternón.

La regresión se ha llevado a cabo con las cuatro variables individualmente y combinándolas entre ellas dos a dos. Por último, se ha realizado un estudio de regresión por pasos sucesivos, en el cual el estadístico elige las variables que mejor se relacionan con la edad y construye así una recta de regresión. Los resultados, separados por sexo, se muestran en las Tablas 3 y 4. Los datos señalados con dos asteriscos son los que se han obtenido del estudio de regresión por pasos sucesivos; en el mejor de los casos, sumando las cuatro variables de estudio se obtiene un valor de R^2 que explica el 69% en el caso de las mujeres y el 64% en los hombres varones para el estudio de la edad. El resto de los análisis se han realizado en un estudio de regresión en el cual el investigador ha seleccionado todas las variables para poder obtener resultados cuando no puedan usarse las primeras fórmulas.

Los resultados de la regresión cuando las variables han sido seleccionadas por el investigador muestran que, individualmente, la variable que proporciona más información es la media de gris en el manubrio del esternón, ya que por sí sola aporta, en el caso femenino, un 63% de información, y en el masculino un 56%. Además, si se mezclan las variables utilizando como denominador común la media de gris en el manubrio, puede apreciarse que los resultados no mejoran demasiado, por lo que casi toda la información la ofrece esta única variable.

Una vez que se sabe qué variables son las más útiles para determinar la edad en individuos adultos, se han obtenido los coeficientes para cada variable y las funciones discriminantes que serán de utilidad en la estimación de la edad. En la Tabla 3 se muestran las funciones discriminantes que se han obtenido gracias a los coeficientes del análisis estadístico para el caso femenino, así como los porcentajes de acierto y el error medio en cada una de ellas; en la Tabla 4 se muestran los mismos datos para el caso masculino.

Al resultado de las anteriores funciones discriminantes habría que sumar y restar el error medio, para poder establecer un intervalo de edad en el

Tabla 3.
Funciones discriminantes
y porcentaje de acierto en
mujeres.

Variable	Resumen de la regresión		Funciones discriminantes	Error medio	Porcentaje de fiabilidad
	R ²	Error típico			
Acromion	0,36	13,04	Edad = 83,452 - 164,973 AC	±9	36%
Cuello	0,42	14,04	Edad = 75,301 - 192,820 C	±8	42%
Manubrio**	0,63	13,57	Edad = 96,012 - 111,436 M	±10	63%
Cuerpo	0,39	15,91	Edad = 92,536 - 100,720 CU	±6	39%
Manubrio + cuello	0,64	17,73	Edad = 93,381 - 0,569 AC - 133,565 C	±7	64%
Manubrio + acromion	0,65	11,86	Edad = 102,143-0,389 AC- 149,401 M	±8	65%
Manubrio + cuerpo	0,65	12,66	Edad = 105,184 - 0,304 AC - 97,733 CU	±9	65%
Acromion + cuello + manubrio	0,67	12,13	Edad = 99,547 - 0,599 AC - 158,352 C - 94,12 M	±10	67%
Acromion + cuerpo + manubrio	0,66	12,35	Edad = 110,869 - 0,309 AC - 187,739 CU - 92,24M	±11	66%
Cuello + cuerpo + manubrio	0,68	13,13	Edad = 98,777 - 0,464 C - 91,163 CU - 28,32 M	±8	68%
Acromion + cuello + cuerpo + manubrio**	0,69	13,24	Edad = 101,134 - 96,723 AC - 0,341 C - 76,492 CU - 0,167 M	±9	69%

AC: acromion; C: cuello; M: manubrio; CU: cuerpo; **Resultados obtenidos del estudio de regresión por pasos sucesivos.

cual estaría la edad del sujeto de quien se pretende calcular la edad, con la probabilidad de acierto que corresponda a cada una de las funciones.

Discusión

La medida de gris en imágenes radiográficas se ha utilizado desde hace algún tiempo como indicador de las variaciones que sufren los huesos debidas a la pérdida de materia ósea con la edad⁷. De esta forma, si todas las placas radiográficas se realizan en igualdad de condiciones, podría asumirse que las diferencias que aparezcan entre los grados de gris se deberían exclusivamente a la pérdida de materia ósea en los huesos con el paso del tiempo.

En este estudio, tanto el área seleccionada como las regiones anatómicas han sido estandarizadas para evitar errores. Con esta información se ha creado una base de datos de medidas de grises que se ha sometido a un análisis estadístico para obtener los resultados.

Mediante la prueba t de Student para muestras independientes se ha podido determinar que hay diferencias significativas entre sexos con respecto a la edad. Esto era lógico de esperar, puesto que se sabe que los cambios degenerativos que sufre el esqueleto no ocurren igual en las mujeres y en los hombres; en esta línea podemos destacar la osteoporosis, que siendo una enfermedad que puede afectar tanto a hombres como a mujeres, afecta en mayor proporción a las mujeres una vez alcanzada la menopausia, aproximadamente a partir de los 50 años²⁸.

Variable	Resumen de la regresión		Funciones discriminantes	Error medio	Porcentaje de fiabilidad
	R ²	Error típico			
Acromion	0,32	13,96	Edad = 78,179 - 172,379 AC	±6	32%
Cuello	0,39	13,09	Edad = 91,399 - 206,082 C	±5	39%
Manubrio**	0,56	11,88	Edad = 85,780 - 100,448 M	±7	56%
Cuerpo	0,42	15,79	Edad = 90,592 - 0,550 CU	±6	42%
Manubrio + cuello	0,59	16,79	Edad = 95,251 - 0,309 AC - 143,582 C	±6	59%
Manubrio + acromion	0,58	11,8	Edad = 107,783-0,346 AC- 166,433 M	±8	58%
Manubrio + cuerpo	0,60	12,75	Edad = 103,654 - 0,344 AC - 82,783 CU	±9	60%
Acromion + cuello + manubrio	0,62	11,91	Edad = 90,897 - 0,309 AC - 161,562 C - 98,36 M	±5	62%
Acromion + cuerpo + manubrio	0,62	11,89	Edad = 105,569 - 0,358 AC - 192,849 CU - 96,42 M	±8	62%
Cuello + cuerpo + manubrio	0,63	12,95	Edad = 99,667 - 0,344 C - 94,093 CU - 36,28 M	±7	63%
Acromion + cuello + cuerpo + manubrio**	0,64	12,02	Edad = 104,842 - 102,833 AC - 0,231 C - 66,575 CU - 0,182 M	±7	64%

AC: acromion; C: cuello; M: manubrio; CU: cuerpo; ** Los resultados con doble asterisco son los que se han obtenido del estudio de regresión por pasos sucesivos.

Tabla 4.
Funciones discriminantes y porcentajes de acierto en hombres.

La prueba t de Student también se ha realizado para comprobar si hay diferencias en la lateralidad, y ha podido comprobarse que no existen diferencias significativas entre escápulas derechas e izquierdas. Esta conclusión también era de esperar, ya que a no ser que hubiese alguna carga biomecánica o algún esfuerzo excesivo que decantara una gran pérdida de materia ósea en un lado respecto del otro, no debería haber diferencias^{29,30}.

Con estos resultados, era lógico pensar que debía continuarse con el estudio teniendo en cuenta la segmentación de la muestra dividida en sexos, ya que tratar toda la muestra por igual podría conllevar errores.

El estudio de la correlación ha demostrado que las medias de todas las variables disminuyen al aumentar

la edad de los individuos, y que la variable que mejor se correlaciona con la edad, tanto en hombres como en mujeres, es la media de gris en el manubrio del esternón.

El análisis de regresión muestra que, en el caso individual de las cuatro variables de estudio, tanto en los hombres como en las mujeres, los valores de R² son bastante mejores en la variable que se calcula como la media de gris en el manubrio del esternón. Esta variable aporta la mayoría de la información útil para predecir la edad por sí sola, con porcentajes del 63% en las mujeres y del 56% en los hombres.

En segundo lugar, de manera individual se encuentran las medias de gris en el cuerpo del manubrio y en el cuello de la escápula en mujeres y en hombres. Por último, la variable que peor predice la edad

es la media de gris en el acromion, ya que aporta muy poca información independiente del sexo. Esto puede deberse a que la medida que se ha tomado en el manubrio estaba mejor estandarizada que las medidas tomadas en el resto de los lugares. Además, centrando la discusión en la variable del acromion, hay que tener en cuenta que es una región susceptible a los daños, ya que se ha comprobado que es la parte que ha sufrido mayor desgaste post mortem.

En el caso de combinación de variables, en ambos sexos, puede observarse que las funciones discriminantes que contienen la variable media del gris en el manubrio del esternón presentan valores de R^2 mejores, y por tanto proporcionan una información más fiable. Al combinar esta variable con el resto aumentan los porcentajes, aunque de manera no significativa, llegando a alcanzarse, gracias a la suma de las cuatro variables, porcentajes de información del 69% en las mujeres y del 64% en los hombres.

Finalmente, cabe destacar que aunque la variable media de gris en el manubrio del esternón se comporta mejor que las otras tres variables de estudio y proporciona más información al estudio de la edad en los adultos, el porcentaje de fiabilidad sigue siendo bajo, y por tanto no sería un buen método, por sí solo, para estimar la edad en sujetos adultos.

Estos resultados están en consonancia con otros trabajos que afirman no obtener buenas correlaciones entre la pérdida de materia ósea y la edad de los individuos adultos⁹, y en discordancia con otros que obtienen buenos resultados^{5,7,8,10,19}. Se ha podido comprobar, gracias a la correlación, que sí existe una pérdida de materia ósea en función de la edad, y que esta relación podría ayudar al estudio de la predicción de la edad; no obstante, el poder de discriminación de los equipos utilizados para la realización de este estudio no es muy grande, por lo que es posible que la calidad de las imágenes radiográficas no sea óptima, y que el *software* utilizado no permita discernir entre diferencias de medidas tan pequeñas. Las distintas conclusiones que han obtenido otros autores en trabajos parecidos podrían deberse a la calidad de

las imágenes, así como a la diferencia en cuanto al instrumental y al *software* utilizado. Sería necesario, para próximos estudios, utilizar otras técnicas que tengan un poder discriminante mayor y que, por tanto, proporcionen resultados más precisos. En esta línea hay publicados varios estudios que relacionan la edad con la pérdida de materia ósea utilizando la densitometría o la tomografía computarizada (TC), que proporcionan resultados bastante fiables^{31,32}.

Conclusiones

- Las variables de estudio basadas en las medidas de densidad de gris en el esternón, la media de gris en el manubrio y en el cuerpo, no proporcionan muy buena información por sí solas para el cálculo de la edad en individuos adultos; la mejor es la media de gris en el manubrio del esternón.
- Las variables de estudio basadas en las medidas de densidad de gris en la escápula, la media de gris en el cuello y en el acromion, no proporcionan información fiable, por sí solas, para la estimación de la edad en individuos adultos.
- La relación de todas las variables entre ellas no proporciona información útil para estimar la edad en los adultos; la única variable que aporta información es la media de gris en el manubrio del esternón.
- Los resultados de este estudio están concuerdan con los de algunos trabajos publicados al respecto y están en discordancia con otros que se han realizado de manera similar. Esto puede deberse a la distinta calidad de las imágenes radiográficas y al *software* utilizado para la toma de medidas.
- Para mejorar la precisión de este tipo de estudios sería conveniente utilizar otras técnicas, como la densitometría o la TC, que proporcionan resultados más fiables.

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Bibliografía

- Franklin D. Forensic age estimation in human skeletal remains: current concepts and future directions. *Leg Med (Tokyo)*. 2010;12(1):1-7.
- Garvin HM, Passalacqua NV. Current practices by forensic anthropologists in adult skeletal age estimation. *Journal of Forensic Sciences*. 2012;57(2):427-33.
- Cunha E, et al. The problem of ageing human remains and living individuals: a review. *Forensic Sci Int*. 2009;193:1-13.
- Garamendi PM, Landa MI. Estimación forense de la edad: revisión bibliográfica. *Cuad Med For*. 2003;31:13-24.
- Acsádi GY, Nemeskéri J. *History of human life span and mortality*. Budapest: Akadémiai Kiadó; 1970.
- Hartnett KM. Analysis of age-at-death estimation using data from a new, modern autopsy sample — part II: sternal end of the fourth rib. *J Forensic Sci*. 2010;55:1152-6.
- Walker RA, Lovejoy CO. Radiographic changes in the clavicle and proximal femur and their use in the determination of skeletal age at death. *Am J Phys Anthropol*. 1985;68(1):67-78.
- Barrés DR, et al. Age estimation from quantitation of features of "chest plate" X-Rays. *J Forensic Sci*. 1989;34(1):228-33.
- Garamendi PM. *Análisis de parámetros de maduración ósea como indicadores de edad en estudios de radiología digital de tórax y estudios de radiología panorámica dental digital*. Tesis doctoral. Universidad de Granada; 2007.
- Wade A, et al. Preliminary radiological assessment of age-related change in the trabecular structure of the human os pubis. *J Forensic Sci*. 2011;56:312-9.
- Garg A, et al. Radiological age estimation from xiphisternal joint in living person. *J Indian Acad Forensic Med*. 2011;33:27-9.
- MacLaughlin SM, Watts BL. Manubrio-sternal fusion — radiographic investigation. *Ann Hum Biol*. 1992;19:216.
- Garg A, et al. Radiological age estimation from manubrio-sternal joint in living population of Punjab. *J Punjab Acad Forensic Med Toxicol*. 2011;11:69-71.
- Cameron HU, Fornasier VL. The manubriosternal joint — an anatomoradiological survey. *Thorax*. 1974;29:472-4.
- Singh D, et al. Time of fusion of mesosternum with manubrium and xiphoid process. *J Anat Soc India*. 1994;43:125-35.
- Gautam RS, et al. The human sternum — as an index of age and sex. *J Anat Soc India*. 2003;52:20-3.
- Sun YX, et al. Age estimation on the female sternum by quantification theory I and stepwise regression analysis. *Forensic Sci Int*. 1995;74:57-62.
- Jit I, Bakshi V. Time of fusion of the human mesosternum with manubrium and xiphoid process. *Indian J Med Res*. 1986;83:322-31.
- Bonsell S, et al. The relationship of age, gender, and degenerative changes observed on radiographs of the shoulder in asymptomatic individuals. *J Bone Joint Surg [Br]*. 2000;82-B:1135-9.
- Bright AS, et al. Reliability of radiographic evaluation for acromial morphology. *Skeletal Radiol*. 1997;26:718-21.
- Dabbs GR, Moore-Jansen P. Age changes in the adult human scapula. *HOMO - Journal of Comparative Human Biology*. 2012;63:368-84.
- Dabbs GR. *The effect of age on human scapula morphology*. Unpublished MA Thesis. Wichita State University; 2005.
- Frich LH, et al. Glenoid bony architecture. *J Shoulder Elbow Surg*. 1998;7:356-61.
- Nicholson GP, et al. The acromion: morphologic condition and age related changes. A study of 420 scapulas. *J Shoulder Elbow Surg*. 1996;5:1-11.
- Milgrom C, et al. Rotator-cuff changes in asymptomatic adults: the effect of age, hand dominance and gender. *J Bone Joint Surg [Br]*. 1995;77-B:296-8.
- Getz JD, et al. Acromial morphology: relation to sex, age, symmetry and subacromial enthesophytes. *Radiology*. 1996;199:737-42.
- Ruff CB. Mechanical determinants of bone form: insights from skeletal remains. *J Musculoskelet Neuronal Interact*. 2005;5(3):202-12.
- Pietschmann P, et al. Osteoporosis: an age-related and gender-specific disease. A mini-review. *Gerontology*. 2009;55:3-12.
- Bassed RB, et al. The incidence of asymmetrical left/right skeletal and dental development in an Australian population and the effect of this on forensic age estimations. *Int J Legal Med*. 2012;126:251-7.
- Kapandji IA. *Fisiología articular*. Vol. I. 5ª ed. Ed. Médica Panamericana; 1998. p. 12-80.
- Macchiarelli R, Bondioli L. Linear densitometry and digital image processing of proximal femur radiographs: implications for archaeological and forensic anthropology. *Am J Phys Anthropol*. 1994;93:109-22.
- Wade A, et al. Preliminary radiological assessment of age-related change in the trabecular structure of the human os pubis. *J Forensic Sci*. 2011;56:312-9.

CERTIFICADO DE PRESENTACION DE COMUNICACIÓN ORAL

Por el presente documento se acredita que la Comunicación Oral titulada **PROYECTO US 18. Metodología para la estimación de la mayoría de edad legal mediante el cierre de los cartílagos metafisarios del radio, clavícula, tibia y primer metacarpiano, utilizando métodos ecográficos. BENITO SÁNCHEZ M, DOMÍNGUEZ LÓPEZ R, MUÑOZ GARCÍA A, TEJEDOR DE MIGUEL V, IGLESIAS BEXIGA J, ROBLEDO ACINAS MM, SÁNCHEZ SÁNCHEZ JA.** ha sido presentada en la 5ª Reunión Científica de la Asociación Española de Antropología y Odontología Forense celebrada en Verín (Ourense) los días 27 y 28 de junio de 2013.

En Verín (Ourense) a 28 de junio de 2013.

Asociación Española de
Antropología y Odontología forense

Firmado: Dr Dn Jose Antonio Sánchez

Presidente de la AEAOF

IV Jornadas Científicas

24 y 25 de Mayo 2012

INSTITUTO NACIONAL DE TOXICOLOGÍA Y CIENCIAS FORENSES (INTCF)

Departamento de Madrid

Las Rozas de Madrid

La AEAOF otorga el presente CERTIFICADO a

MARÍA BENITO SÁNCHEZ

Por la presentación de la Comunicación Oral

**“Estudio para la estimación de la edad a través de
métodos radiográficos y de análisis de imagen en
escápula y esternón”**

asociación Española de
Antropología y Odontología forense

Fdo. Dr. José Antonio Sánchez Sánchez

Presidente de la AEAOF

Comité Organizador y Científico:

Dña. Cruz Valero Abad

Dra. M^a Amparo Jiménez Sánchez

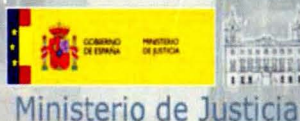
Dra. Teresa Cabellos Panadés

Servicio de Criminalística. INTCF. Dpto de Madrid

Organizan

Colaboran

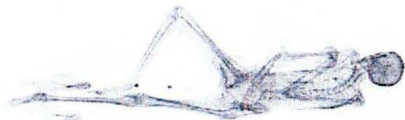
Patrocinan



AEAOF



tree logic



La Asociación Española de Antropología y Odontología Forense

Otorga el presente Certificado a:

Benito Sánchez M, Robledo Acinas MM, Sánchez Sánchez JA, García Fernández-Hijicos S, Ruiz Mediavilla E.

***Por su participación como ponente en las III Jornadas Científicas
Hacia una armonización de los criterios diagnósticos en el estudio de
restos humanos***

Habiendo presentado la comunicación que lleva por título:

***ESTUDIO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA EDAD A TRAVÉS DE MÉTODOS
RADIOGRÁFICOS Y DE ANÁLISIS DE IMAGEN EN CLAVÍCULA.***

Celebradas en Madrid, en la sede del Centro de Estudios Jurídicos, durante los días

2 y 3 de junio de 2011

antropología y ***O***dontología ***f***orense

José A. Sánchez
Presidente de la A.E.A.O.F.

Fecha 3/6/2011

